



Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Экспедиционные исследования

в Мировом океане, внутренних водах
и на архипелаге Шпицберген

2019

Тезисы конференции «Итоги экспедиционных
исследований в 2019 году в Мировом океане,
внутренних водах и на архипелаге Шпицберген»
26–27 февраля 2020 г.

Москва, Россия.
2020 г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Итоги экспедиционных исследований в 2019 году в Мировом океане, внутренних водах и на архипелаге Шпицберген

Материалы конференции
26–27 февраля 2020 г.
г. Москва, Российская Федерация

Севастополь
ФИЦ ИНБЮМ
2020

УДК [551.46+574](26+28)(06)

ББК 26.22(9)я43

И93

И93

Итоги экспедиционных исследований в 2019 году в Мировом океане, внутренних водах и на архипелаге Шпицберген : материалы конференции, 26–27 февраля 2020 г., Москва, Российская Федерация / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации ; ред. кол.: А. В. Адрианов, Г. Г. Матишов, С. К. Коновалов, А. А. Тишков, А. Г. Зацепин, Г. Г. Ахманов, А. В. Толстиков. – Севастополь : ФИЦ ИНБЮМ, 2020. – 240 с.

ISBN 978-5-6044865-0-4 <https://doi.org/10.21072/978-5-6044865-0-4>

В сборнике представлены материалы конференции «Итоги экспедиционных исследований в 2019 г. в Мировом океане, внутренних водах и на архипелаге Шпицберген» (г. Москва, 26–27 февраля 2020 г.). Сборник включает предварительные научные результаты морских экспедиционных исследований на судах неограниченного района плавания во всех морях России и на судах малого научно-исследовательского флота на внутренних реках и водоёмах. Особое внимание уделено научным исследованиям на архипелаге Шпицберген и в омывающих его водах, а также результатам программы «Трансарктика–2019» и многолетней международной научно-образовательной программы «Обучение через исследования (Плавучий университет)».

УДК [551.46+574](26+28)(06)

ББК 26.22(9)я43

Редакционная коллегия:

*академик РАН А. В. Адрианов; академик РАН Г. Г. Матишов; чл.-корр. РАН С. К. Коновалов;
чл.-корр. РАН А. А. Тишков; д. ф.-м. н. А. Г. Зацепин; к. г.-м. н. Г. Г. Ахманов; к. г. н. А. В. Толстиков*

*Материалы опубликованы в авторской редакции
с минимальными корректорскими правками.*

ISBN 978-5-6044865-0-4

© Министерство науки и высшего образования РФ, 2020

© ФИЦ ИНБЮМ, 2020

Содержание

Морские экспедиционные исследования в российских арктических морях

Бахмутов В. Ю.

Итоги комплексных морских научных исследований АО «ГНИНГИ» в Северном Ледовитом океане в 2019 году	12
---	-----------

Гусев Е. А., Крылов А. А., Бочкарев А. В., Криницкий П. И., Горемыкин Ю. В., Новихина Е. С., Семенов П. Б., Казарезов Д. А., Сухоплюева А. С.

Результаты геологической съёмки шельфа моря Лаптевых в рамках листов Т-49,50,51,52 масштаба 1:1 000 000 государственной геологической карты Российской Федерации	18
---	-----------

Клювиткин А. А., Кравчишина М. Д., Немировская И. А., Баранов Б. В., Коченкова А. И., Лисицын А. П.

Системные исследования Европейской Арктики в 75-м рейсе научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш»	24
---	-----------

Макаревич П. Р., Ишкулов Д. Г., Берченко И. В., Дружкова Е. И., Ежов А. В., Зимина О. Л., Ильин Г. В., Карамушко О. В., Моисеев Д. В., Олейник А. А.

Основные результаты комплексных морских научных исследований ММБИ КНЦ РАН в акваториях северо-западного сектора Арктики в 2019 году	31
--	-----------

Мартынова Д. М., Усов Н. В., Кутчева И. П., Смирнов В. В., Сухотин А. А.

Исследование пелагиали Белого моря: динамика основных показателей (гидрология, гидрохимия, зоопланктон) по результатам морских экспедиций и её связь с изменениями климата	39
---	-----------

Мирошников А. Ю., Комаров В. Б.

Новые данные о радиационном состоянии донных осадков Обь-Енисейского мелководья и эстуариев Оби и Енисея	41
---	-----------

Никифоров С. Л.

Основные результаты, полученные в 41-м рейсе НИС «Академик Николай Страхов» в Баренцевом и Карском морях (июнь — август 2019 г.)	47
---	-----------

Семилетов И. П.

Основные результаты комплексной межрегиональной экспедиции на НИС «Академик Мстислав Келдыш»: новые данные об особенностях функционирования геосистем литосфера — гидросфера — криосфера — атмосфера в морях Восточной Арктики	51
---	-----------

Талденкова Е. Е., Шманяк А. В., Кассенс Х., Эверс Ф.

Геологические исследования в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском в рамках 4-го этапа экспедиции «Трансарктика — 2019»	53
--	-----------

Толстиков А. В., Здоровеннов Р. Э., Галахина Н. Е., Усов Н. В., Зимин А. В., Белевич Т. А., Коник А. А., Свергун Е. И., Никишова Е. П.

Выполнение комплексных исследований трансформации гидрологических и биогеохимических режимов Белого моря под влиянием климатических изменений на различных пространственно-временных масштабах в сентябре 2019 года	57
--	-----------

Флинт М. В.

Экосистемы морей Сибирской Арктики — 2019: весенние процессы в Карском море (76-й рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш»)	65
---	-----------

Чаркин А. Н., Кособокова К. Н., Семкин П. Ю., Дударев О. В., Ершова Е. А., Павлова Г. Ю., Сергеева В. М., Пипко И. И., Пугач С. П., Барабанщиков Ю. А., Юрикова Д. А., Леусов А. Э.

Комплексные океанографические исследования на ГС «Анатолий Жилинский» в губе Буор-Хая (море Лаптевых) для оценки влияния разгрузки субмаринных грунтовых вод на морские экосистемы	67
---	-----------

Яковлев Н. Г., Зимин А. В., Репина И. А.

Предварительные научные результаты работ в 40-м рейсе НИС «Академик Николай Страхов» (30 мая — 24 июня 2019 г.)	72
--	-----------

Морские экспедиционные исследования в Атлантике

Баширова Л. Д., Сивков В. В., Кулешова Л. А., Пономаренко Е. П., Матуль А. Г., Дудков И. Ю., Кречик В. А., Бубнова Е. С.

Новые данные о современных гидрологических придонных условиях и процессах осадконакопления в восточной тропической Атлантике под влиянием антарктического придонного течения (по материалам 44-го рейса НИС «Академик Николай Страхов»)	74
--	-----------

Гладышев С. В., Гладышев В. С., Стародымова Д. П., Малофеев Г. В., Политова Н. В., Демидов А. Б.

Климатический мониторинг Северной Атлантики в 77-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в августе — сентябре 2019 г.	79
---	-----------

Дорохов Д. В., Пака В. Т., Кондрашов А. А., Дудков И. Ю., Маркиянова М. Ф.

Комплексные экспедиционные исследования Балтийского моря в 42 и 46-м рейсах НИС «Академик Николай Страхов»	85
---	-----------

Дорохова Е. В., Кречик В. А., Пономаренко Е. П., Дудков И. Ю.

Комплексные океанологические исследования в районе глубоководного прохода Дискавери (Северо-Восточная Атлантика, 43-й рейс НИС «Академик Николай Страхов»)	91
---	-----------

Иванова Е. В., Сколотнев С. Г., Борисов Д. Г., Соколов С. Ю., Пейве А. А., Демидов А. Н., Шаховской И. Б.

Комплексные исследования зон трансформных разломов Долдрамс и Вима (Центральная Атлантика) в 45-м рейсе НИС «Академик Николай Страхов»	95
---	-----------

Сколотнев С. Г., Sanfilippo A., Пейве А. А., Muccini F., Соколов С. Ю., Sani C., Добролюбова К. О., Ferrando C., Перцев А. Н., Чамов Н. П., Грязнова А. С., Шолухов К. Н., Бич А. С.

Строение и состав океанического дна в районе мегатрансформа Долдрамс (Центральная Атлантика) по результатам экспедиционных исследований в 45-м рейсе НИС «Академик Николай Страхов»

97

Ульянова. М. О., Крек А. В., Крек Е. В., Данченков А. Р., Кречик В. А., Ежова Е. Е., Полунина Ю. Ю., Ланге Е. К., Рябчук Д. В.

Результаты мониторинга пространственно-временных изменений экосистемы Балтийского моря в 2019 г. (39-й рейс НИС «Академик Николай Страхов» и 45-й рейс «Академик Борис Петров»)

98

«Плавучие университеты»

Ахманов Г. Г., Хлыстов О. М. и участники проекта Class@Baikal

Шестая Международная геолого-геофизическая экспедиция «Байкальского плавучего университета «Class@Baikal — 2019»: новые данные о флюидоразгрузке на дне Байкала

104

Ершова А. А., Ерёмина Т. Р., Фролова Н. С., Тенилова О. В.

Результаты гидрометеорологических исследований РГГМУ в Баренцевом, Карском и Белом морях в 2019 г. в рамках программы «Арктический плавучий университет»

110

Сабуров А. А., Безгрешнов А. М., Весман А. В., Кожевников А. Ю., Намсараев З. Б., Тузов Ф. К.

Международная научно-образовательная экспедиция «Арктический плавучий университет — 2019»: развитие концепции «Обучение через исследования»

112

Сивков В. В., Ульянова М. О., Дорохов Д. В., Бубнова Е. С.

Комплексные океанологические исследования Балтийского моря в 49-м рейсе НИС «Академик Сергей Вавилов»

123

Северо-западная часть Тихого океана и дальневосточные моря

Босин А. А., Артемова А. В., Василенко Ю. П.

Реконструкция изменений природной среды и климата дальневосточных морей и субарктической части Тихого океана. Седьмая российско-китайская экспедиция НИС «Академик М. А. Лаврентьев» (рейс № 87, 5 сентября — 17 октября 2019 г.)

128

Валитов М. Г., Обжиров А. И., Шакиров Р. Б., Ли Н. С., Яцук А. В., Прошкина З. Н., Пономарева А. Л., Калинин В. В., Плетнев С. П., Марьина Е. Н., Швалов Д. А., Бовсун М. А.

Комплексные геолого-геофизические, газогеохимические и океанографические исследования в Японском море и Татарском проливе (85-й рейс НИС «Академик М. А. Лаврентьев»)

132

Даутова Т. Н., Борзых О. Г., Асавин А. М., Галкин С. В., Коноплин А. Ю., Михайлик П. Е., Наревич И. С., Полоник Н. С., Адрианов А. В.

Глубоководные экосистемы Императорского хребта (северная часть Тихого океана): комплексные исследования с применением телеуправляемых аппаратов

139

Лобанов В. Б., Сергеев А. Ф., Воронин А. А., Горячев В. А., Горин И. И., Шлык Н. В., Марьина Е. Н., Попов, В. Цой О. С., Зверев С. А., Рудых Я. Н., Тищенко П. П., Чаркин А. Н., Сагалаев С. Г., Степочкин И. Е., Корсков И. В., Семкин П. Ю., Теличко А. С., Прушковская И. А., Власова Г. А., Лукьянова Н. Б., Шкирникова Е. М.

Исследование состояния и изменения водной среды в Японском море (57 и 58-й рейсы НИС «Академик Опарин») 140

Шакиров Р. Б., Do Huy Cuong, Обжиров А. И., Nguen Trung Thanh, Валитов М. Г., Ли Н. С., Легкодимов А. А., Калгин В. Ю., Еськова А. И., Прошкина З. Н., Телегин Ю. А., Le Duc Anh, Стороженко А. В., Иванов М. В., Le Duc Luong, Плетнев С. П., Съедин В. Т., Швалов Д. А., Липинская Н. А., Бовсун М. А., Максеев Д. С., Dang Hoa Nhon

Первая комплексная российско-вьетнамская геолого-геофизическая и океанографическая экспедиция в Южно-Китайском море (88-й рейс НИС «Академик М. А. Лаврентьев», 27 октября — 08 декабря 2019 г.) 144

Юрченко А. Н.

Научно-исследовательская экспедиция № 56 в Охотское море и северо-западную часть Тихого океана на НИС «Академик Опарин» (июнь — август 2019 г.) 163

Внутренние воды

Асламов И. А., Балин Ю. С., Башенхаева М. В., Блинов В. В., Гнатовский Р. Ю., Домышева В. М., Ефимова Т. В., Жамсуева Г. С., Жученко Н. А., Загайнов В. А., Зайцева Е. П., Захаренко А. С., Земская Т. И., Зырянов В. Н., Зырянов Д. В., Кирильчик С. В., Кучер К. М., Ломакина А. В., Майкова О. О., Макаров М. М., Минчева Е. В., Моисеева Н. А., Непокрытых А. В., Панченко М. В., Перетолчина Т. Е., Подлесная Г. В., Пудовкина Т. А., Суслова М. Ю., Тимошкин О. А., Фирсова А. Д., Хабуев А. В., Ханаев И. В., Хлыстов О. М., Ходжер Т. В., Чурилова Т. Я., Штыкова Ю. Р., Шубенкова О. В., Щербаков Д. Ю., Федотов А. П.

Экспедиционные работы ЛИН СО РАН на озере Байкал в 2019 году 166

Герасимов Ю. В.

Структура и функционирование экосистем каскада волжских водохранилищ: итоги комплексных исследований в 2018–2019 гг. 172

Калинкина Н. М., Теканова Е. В., Зобков М. Б., Белкина Н. А., Рябинкин А. В., Георгиев А. П.

Изменение гидрохимического, гидробиологического и седиментационного режимов крупнейших озер-водохранилищ Северо-Запада России под влиянием климатического и антропогенного факторов (по данным экспедиционных исследований 2019 г.) . . . 177

Морские экспедиционные исследования в Чёрном и Азовском морях

Бурдиян Н. В., Мирзоева Н. Ю., Алемов С. В., Чурилова Т. Я., Машукова О. В., Финенко З. З., Муханов В. С., Дмитриева Е. В., Куцын Д. Н.

Экспедиционные исследования структурно-функциональной организации, продуктивности и устойчивости пелагических и донных экосистем Чёрного и Азовского морей и архипелага Кабо-Верде 186

Бердников С. В.

Экспедиционная деятельность ЮНЦ РАН на судах научно-исследовательского флота Министерства науки и высшего образования РФ в 2019 г.	191
---	------------

Зацепин А. Г.

Современное состояние прибрежной черноморской экосистемы по данным экспеди- ции ИО РАН «Чёрное море — 2019» с использованием МНИС «Ашамба»	194
---	------------

Коновалов С. К., Артамонов Ю. В., Гармашев А. В., Орехова Н. А.

Экспедиционные исследования океанологических процессов Чёрного и Азовского морей в 2019 г.	195
---	------------

Мирзоева Н. Ю., Егоров В. Н., Муханов В. С., Терещенко Н. Н., Малахова Л. В., Артемов Ю. Г., Карпо-
ва Е. П., Губанова А. Д., Малахова Т. В., Тихонова Е. А., Куцын Д. Н., Литвинюк Д. А., Гаврюсева Т. В., Чес-
нокова И. И., Сигачева Т. Б., Мальцев В. И., Агафонов А. В., Логоминова И. В., Проскурнин В. Ю., Парас-
кив А. А., Скуратовская Е. Н., Белоусова Ю. В., Сахонь Е. Г., Горбазей О. А., Коротков А. А., Евтушенко Д. Б.,
Решетник Л. В., Мосейченко И. Н., Архипова С. И., Лобко В. В.

Изучение биоразнообразия и экологического состояния прибрежных акваторий Кры- ма на маломерных судах ФИЦ ИнБЮМ	199
---	------------

Самодуров А. С., Чухарев А. М., Зубов А. Г., Павленко О. И., Хлыстов В. А.

Вертикальный турбулентный обмен в деятельном слое Чёрного моря	205
---	------------

Федирко А. В., Артамонов Ю. В., Дерюшкин Д. В., Никольский Н. В., Озеров С. А., Скрипалева Е. А.,
Шутов С. А., Шаповалов Р. О., Шаповалов Ю. И., Щербаченко С. В.

Циркуляция и термохалинная структура вод северной части Чёрного моря по дан- ным гидрологических измерений в 2019 г. (106, 108, 110, 111-й рейсы НИС «Профессор Водяницкий»)	206
---	------------

Комплексные исследования на архипелаге Шпицберген

Державин В. Л., Колесников А. Б.

Мониторинг археологических памятников Ис-фьорда в 2019 г.	214
--	------------

Жиров В. К., Гонтарь О. Б.

Изучение растительно-почвенных ресурсов как основа развития методов управле- ния особо охраняемыми природными территориями и оптимизации условий жизни на архипелаге Шпицберген	215
--	------------

Козелов Б. В.

Проведение стационарных наблюдений за магнитными и оптическими явлениями на архипелаге Шпицберген, исследование геофизических процессов в высокоширот- ной атмосфере Земли	217
---	------------

Моисеев Д. В., Малавенда С. В., Запорожцев И. Ф., Максимовская Т. М, Лебедева Н. В., Мещеряков Н. И., Ильин Г. В., Усягина И. С.

Комплексные исследования морских и наземных экосистем в районе архипелага Шпицберген в 2019 г. 218

Осокин Н. И., Карелин Д. В., Сосновский А. В., Зазовская Э. П., Чернов Р. А.

Изменчивость природных и антропогенных ландшафтов архипелага Шпицберген в условиях современного климата 221

Репина И. А., Шестакова А. А., Артамонов А. Ю., Чечин Д. Г.

Исследование динамики и структуры атмосферного пограничного слоя над сложным рельефом в полярных районах 223

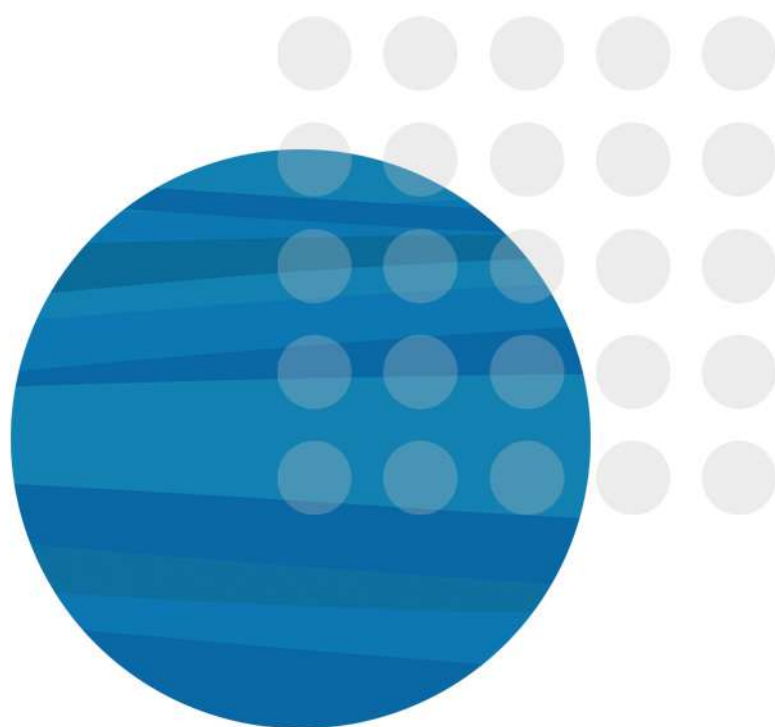
Сироткин А. Н., Милославский М. Ю., Шарин В. В., Костева Н. Н., Окунев А. С., Евдокимова Н. К., Зыков Е. А., Урванцев Д. М., Горбунов Д. А., Соловьева Д. А.

Предварительные результаты геологических экспедиционных исследований на архипелаге Шпицберген (Земля Норденшельда) в 2019 году 224

Федоров А. В., Асминг В. Э., Федоров И. С., Воронин А. И.

Сейсмические и инфразвуковые наблюдения на архипелаге Шпицберген в 2019 году . 232

Морские экспедиционные исследования в российских арктических морях



ИТОГИ КОМПЛЕКСНЫХ МОРСКИХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ АО «ГНИНГИ» В СЕВЕРНОМ ЛЕДОВИТОМ ОКЕАНЕ В 2019 ГОДУ

В. Ю. Бахмутов

Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт

Основная задача, решаемая в ходе экспедиционных исследований, проводимых с 2010 года, — установление внешней границы континентального шельфа (ВГКШ) России в Северном Ледовитом океане (СЛО).

В 1997 году РФ ратифицировала конвенцию Организации Объединённых Наций (ООН) по Морскому праву, и после этого возник вопрос об установлении прав на континентальный шельф, т.е. дно океана за пределами 200-мильной исключительной экономической зоны. В 2001 году была подана заявка на установление ВГКШ в СЛО. Но в связи с тем, что она была основана на данных промера глубин, выполненных с наших атомных подводных лодок и ледовых станций с недостаточной точностью, документ не был поддержан комиссией ООН по границам континентального шельфа. После этого началась работа по обоснованию ВГКШ с использованием современных данных, для чего, начиная с 2010 года, был организован ряд экспедиций, в которых принимал участие Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт (ГНИНГИ). В результате проведённой научной работы было установлено, что наиболее эффективным способом исследований в ледовых условиях является работа с борта исследовательского судна ледового класса под проводкой атомного ледокола.

В 2015 году было подано частично пересмотренное представление России по границе шельфа, которая проходила в том числе по южной оконечности хребта Гаккеля. Однако представленные доказательства не убедили Комиссию, и хребет Гаккеля был исключён из заявки.

Для того, чтобы предоставить в комиссию ООН новые данные, которые позволят включить в состав российского шельфа район площадью около 60 тыс. кв. км, и проводилась экспедиция в 2019 году.

Комплексные исследования проведены в период с 21 июля по 14 сентября 2019 г. на научно-экспедиционном судне (НЭС) «Академик Федоров» под проводкой атомных ледоколов «Таймыр» и «50 лет Победы» по заранее спланированной сети галсов с целью получения дополнительных обосновывающих материалов частично пересмотренного Представления Российской Федерации по установлению внешней границы континентального шельфа за пределами 200-мильной зоны.

Исследования проводились по инициативе Министерства обороны (МО) и Министерства природных ресурсов Российской Федерации. Заказчиком работ выступил Военно-морской флот, непосредственно реализацией контракта занималось Управление навигации и океанографии МО РФ.

Планирование экспедиции началось ещё в 2015 году, однако вследствие ряда обстоятельств, прежде всего финансового характера, экспедиция состоялась 1 й только в 2019 году.

Комплексные исследования включали:

- батиметрические работы;
- гравиметрические работы;
- акустическое профилирование;
- гидрологические измерения.

Задачи экспедиции 2019 года:

1. Получение дополнительной батиметрической информации о морфологии морского дна на основе батиметрических и сейсмоакустических исследований в котловине Нансена с целью определения точек подножия континентального склона (ПКС) в этой котловине для обеспечения построения ВГКШ по формуле Хедберга ($\text{ПКС} + 60 \text{ м}$) и включение на этом основании южной части хребта Гаккеля площадью 60 тыс. кв. км в состав ВГКШ РФ.
2. Получение гравиметрической информации с определением по каждому проектному профилю поля силы тяжести в редукции Буге с целью определения непрерывного графика измеренных значений и оценкой их соответствия расчётным данным, а также данным, полученным в результате обработки информации спутниковой альтиметрии.
3. На основе набортной гравиметрической и батиметрической информации осуществить плотностное геологическое моделирование осадочного комплекса до акустического фундамента и верхнего слоя коры фундамента на профилях № 11, 12, 13, 15, 17, 19, 21, результаты которого использовать для определения точек Гардинера, расстояние от которых до линии 200-мильной экономической зоны по каждому профилю должно быть не более 60 миль, что должно, в соответствии с требованиями Комиссии, обеспечить включение в состав ВГКШ РФ южной оконечности хребта Гаккеля площадью 60 тыс. кв. км.

Кроме этого, одной из задач проекта являлось создание уточнённой цифровой модели рельефа морского дна в районе южной оконечности хребта Гаккеля для использования при составлении карт.

В соответствии с техническим заданием район работ был разбит на два участка. Участок 1.1 расположен в районе южного окончания хребта Гаккеля и примыкающих к нему частей котловин Амундсена и Нансена, участок 1.2 — в приполюсном районе в широтах 85–88 град. с. ш. (рис. 1).

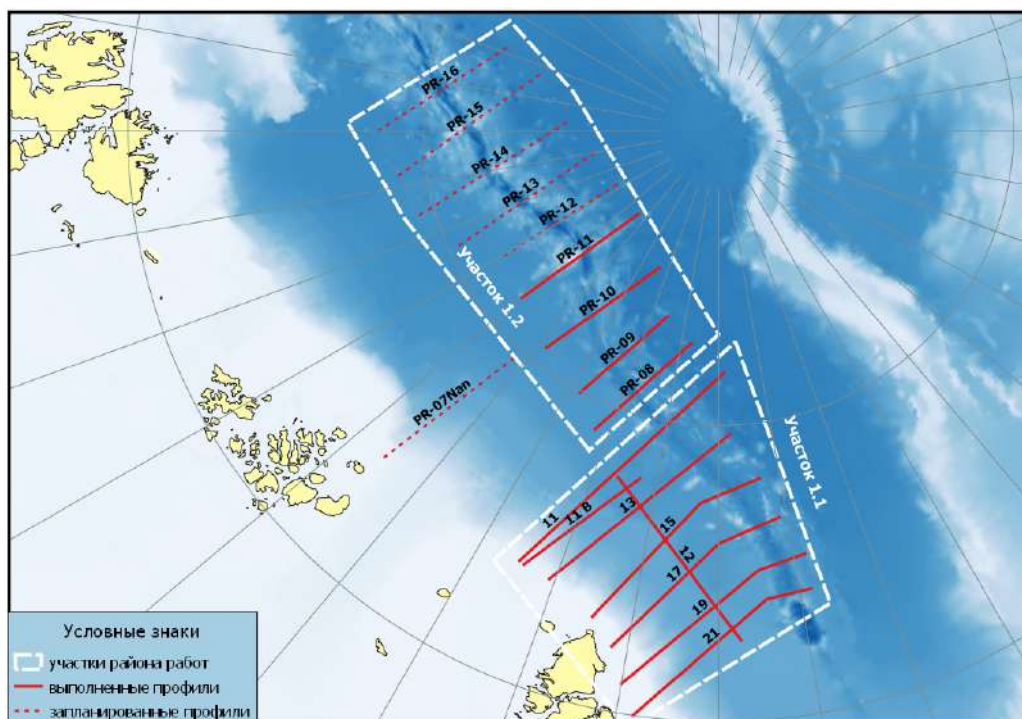


Рис. 1. Район работ НЭС «Академик Федоров» (21 июля — 14 сентября 2019 г.)

В пределах данных участков была спланирована сеть профилей. Объем съёмки должен был составить не менее 3000 лин. км на профилях и 1000 лин. км на межгалсовых переходах.

Для выполнения работ было определено научно-экспедиционное судно «Академик Федоров» (судовладелец — Арктический и антарктический научно-исследовательский институт), для ледокольного обеспечения — атомные ледоколы «Таймыр» (до 27 августа) и «50 лет Победы» (с 28 августа по 9 сентября).

В целом работы выполнены в три традиционных этапа:

- подготовительный — с 14 июня по 21 июля;
- полевые работы в море — с 21 июля по 14 сентября;
- камеральная обработка данных — с 14 сентября по 20 декабря.

Для выполнения работ ГНИНГИ, как головным исполнителем и организатором экспедиции, были привлечены государственные и коммерческие организации. Непосредственно в полевых работах участвовали ГНИНГИ, Гидрографическая служба Северного флота, ООО «Гидро-Си», Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана имени академика И. С. Грамберга, ООО «Моргеонац» и ООО «Морские инновации».

Для решения задач применялись следующие методы исследований:

- батиметрическая съёмка рельефа морского дна многолучевым эхолотом;
- батиметрическая съёмка рельефа морского дна однолучевым эхолотом;
- высокочастотное акустическое профилирование бортовым профилографом;
- низкочастотное акустическое профилирование с помощью заборного аппаратно-программного комплекса;
- гравиметрические исследования;
- гидрологические исследования.

Для непосредственной работы в море были сформированы полевые подразделения: гидрографическая партия, геофизическая партия, включающая гравиметрический отряд и отряд акустического профилирования, и отдельные отряды: гидрометеорологический, полевой обработки батиметрической информации, контроля качества и др.

Батиметрические работы

Съёмка рельефа морского дна выполнялась с использованием штатного гидрографического комплекса судна производства норвежской компании Kongsberg, в состав которого входят многолучевой эхолот EM122, однолучевой эхолот EA600 и параметрический профилограф TOPAS PS18.

Комплекс относится к уникальным техническим средствам, позволяющим производить измерения на глубинах до 12 тыс. метров, не имеет отечественных аналогов и был закуплен и установлен нашим институтом на НЭС «Академик Федоров» при подготовке первой экспедиции «Шельф-2010». Оборудованию уже 10 лет и оно нуждается в регулярном техническом обслуживании. Здесь необходимо отметить, что норвежская фирма отказалась присылать своих специалистов на регламентные работы, сославшись на режим санкций.

В дальнейшем в ходе проведения опытно-методических работ в Норвежском море поломка блока питания многолучевого эхолота и отказ норвежской стороны из-за действующих санкций поставить запчасти взамен неисправных чрезвычайно усложнили работу экспедиции. В результате необходимые запчасти были закуплены в Российской Федерации.

На качество гидрографических данных в значительной степени влияет скорость движения судна и наличие битого льда в канале. Критическим значением является скорость около 5 узлов (приблизительно 9 км/ч).

Для контроля качества съёмки применялись стандартные процедуры контроля, обработка данных параллельным способом и проведение съёмки на контрольных галсах с пересечением профилей и сравнением получаемых цифровых моделей в области пересечения. Можно отметить, что обработка информации от акустического профилографа применительно к результатам работ в Арктике была профессионально выполнена впервые в отечественной практике.

Гидрологические исследования

При проведении батиметрической съёмки крайне важно знать информацию о вертикальном распределении скорости звука в морской воде, которая учитывается при расчёте глубин. С этой целью в экспедиции проводились гидрологические измерения. Для получения детальной информации о вертикальном распределении скорости звука (ВРСЗ), особенно в глубоководных районах, применялись измерители Valeport MIDAS SVP, установленные на пробоотборной системе «Розетта». Дополнительно для определения гидрохимического состава морской воды производился забор проб воды с различных горизонтов с помощью батометров. Несмотря на важность этой информации, из-за значительного времени, необходимого для проведения измерений на глубоководной станции, их было выполнено всего 12. Для выполнения измерений на станции необходимо найти подходящее развездье, убедиться в отсутствии опасного для заборного оборудования дрейфа льда вследствие ветрового воздействия или течений, произвести специальное маневрирование судна для нужного его положения по отношению к ветру в дрейфе, произвести спуск заборного оборудования на глубину около 3 км (скорость не более $1 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$). В целом выполнение таких процедур может занимать около 3–4 часов, поэтому не было возможности выполнять глубоководную гидрологию так часто, как этого хотелось бы.

Для ускорения процесса получения информации о скорости звука применялись обрывные зонды XSV-1, сброс которых происходит на ходу судна. Максимальная глубина применения зондов — до 1800 м, однако на практике удавалось получить информацию на глубинах до 700–800 метров. В экспедиции было выполнено 23 таких измерения (стоимость зонда — около 3000 долларов США).

Низкочастотное акустическое профилирование

Для получения данных о вертикальном строении грунта морского дна на глубину до 300 метров выполнялось низкочастотное акустическое профилирование (ООО «Морские инновации»/ООО «Сплит») с помощью специального аппаратно-программного комплекса.

Использовалась заглубленная с помощью заглубителя на 40–50 метров система из 24-канальной косы, накопителя энергии на 5 кДж и 10-электродного спаркера. На корме судна была смонтирована система для спуска/подъёма оборудования. Всё применяемое оборудование АПНЧ и программное обеспечение является российской разработкой.

Необходимо отметить, что подобного рода работы в высоких широтах в ледовых условиях по сети профилей выполнялись в России впервые, в основном такой вид исследований применяется на значительно меньших глубинах и в условиях открытой воды.

На качество данных, как и в случае с батиметрией, оказывали существенное воздействие скорость судна и ледовые условия. При скорости более 5,5 узлов значительно снижалось качество данных.

Условия, в которых приходилось выполнять работы с заборным оборудованием, можно охарактеризовать как тяжёлые. При проведении такого рода работ должна быть предусмотрена конструктивная защита, но из-за крайне ограниченного срока подготовки экспедиции провести работу по ее установке не удалось.

Всего выполнено 3244 лин. км съёмки в приемлемом качестве. Глубина съёмки достигала на некоторых участках 400 м.

Информация АПНЧ в совокупности с гравиметрическими данными будет использоваться для построения морфологической модели строения и формирования верхней части осадочного чехла котловины Нансена на основе геоморфологического определения точки подножия континентального склона с минимальными градиентами уклона морского дна вне основного правила Научно-Техническое Руководства (НТР) Комиссии по границам континентального шельфа, основанного на максимальных градиентах изменения уклона.

Гравиметрические исследования

Гравиметрические исследования выполнялись по той же сети профилей с дискретностью измерений 1 сек с помощью трёх комплектов мобильных гравиметров «Чекан-АМ», предоставленных гидрографической службой Северного флота. Претензий к работе оборудования не возникало, выполнено более 5500 лин. км съёмки.

Регистрация данных гравиметров производилась при помощи программного обеспечения SeaGrav.

Качество полученной в ходе экспедиции гравиметрической информации в редукции Буге (± 1 мГал) на порядок выше аналогичной информации, получаемой для практического использования в решениях Комиссии на основе спутниковой альтиметрии (± 5 мГал). Высокая точность геодезической привязки благодаря использованию в экспедиции спутниковой навигации (± 10 м) и редукции Буге (± 1 мГал) при должном использовании методики геологического моделирования на основе информации от естественных полей позволит получить положительные результаты по определению мощности осадочного чехла на южной оконечности хребта Гаккеля и определить на этой основе новые положения точек Гардинера в котловине Амундсена, которые позволят доказать, что расстояние между ними и соответствующими точками на линии 200-мильной экономической зоны будут менее 60 миль.

Навигационное обеспечение

В соответствии с требованиями технического руководства точность определения места судна при проведении съёмки должна составлять не более $20 \text{ м} + 10\%$ от глубины с вероятностью 0,95, т. е. в районе точек подножия континентального склона 250–300 м.

Для навигационного обеспечения работ применялась судовая система Kongsberg Seapath 330 и штатное навигационное оборудование. Для обеспечения удержания судна на профиле использовалась навигационно-гидрографическая система QINSy, с помощью которой производилась передача навигационных данных всем остальным отрядам и на мостик судна.

Гидрометеорологические условия экспедиции следует отметить как тяжёлые. Общее число дней с ограниченной видимостью (дымка, туманы, осадки) достигло 80 %. Прогноз гидрометеорологических условий в районе проведения экспедиции обеспечивался Арктическим и антарктическим научно-исследовательским институтом и группой специализированного гидрометеорологического обеспечения, находящейся на борту НЭС «Академик Федоров».

Ледовые условия в южной части района на участке 1.1 были относительно благоприятными для проведения работ, за исключением района вблизи побережья архипелага Северная Земля. На участке 1.2 практически повсеместно наблюдался лёд сплочённостью 9–10 баллов с включениями многолетнего льда, что значительно затрудняло проведение батиметрических работ и сделало невозможным проведение акустического профилирования.

Одним из важных результатов экспедиционных работ, не связанных непосредственно с определением ВГКШ, является создание актуализированной цифровой модели рельефа морского дна. Полученная в результате обработки разнородной информации цифровая модель значительно точнее представляет рельеф дна, чем модель International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO): в некоторых точках разница глубин достигает 300 метров. Этим подтверждается не только практическое, но и общенаучное значение экспедиции, что позволит впредь точнее представлять и моделировать процессы, происходящие в Северном Ледовитом океане.

Особенно это важно с учётом того, что Арктика в настоящее время становится районом пересечения интересов ведущих мировых держав и Российская Федерация должна сохранить свои позиции в изучении региона и его ресурсов.

Выводы

Подводя итоги экспедиции, нужно отметить, что, несмотря на крайне сжатые сроки подготовки, ГНИНГИ справился с поставленной задачей. Эта экспедиция стала третьей, которую возглавлял институт (2010, 2011, 2019). В 2014 году ГНИНГИ выполнял батиметрические исследования в качестве соисполнителя.

В сезон 2019 года в течение 33 суток нахождения в районе работ выполнено 5570 лин. км съёмки рельефа дна, 5512 лин. км батиметрической съёмки, 3244 лин. км акустического профилирования.

Полученная информация по своему качеству и точности отвечает требованиям Конвенции ООН, НТР Комиссии по границам континентального шельфа и может служить научно-методической основой для соответствующих построений по включению южной оконечности хребта Гаккеля на площади 60 тыс. кв. км в состав ВГКШ РФ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЁМКИ ШЕЛЬФА МОРЯ ЛАПТЕВЫХ В РАМКАХ ЛИСТОВ Т-49,50,51,52 МАСШТАБА 1:1 000 000 ГОСУДАРСТВЕННОЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ КАРТЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Е. А. Гусев*, А. А. Крылов, А. В. Бочкарев, П. И. Криницкий, Ю. В. Горемыкин, Е. С. Новихина, П. Б. Семенов, Д. А. Казарезов, А. С. Сухоплюева

Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана имени академика И. С. Грамберга

*gus-evgeny@yandex.ru

Геолого-съёмочные работы во внешней части шельфа моря Лаптевых были проведены силами Всероссийского научно-исследовательского института геологии и минеральных ресурсов Мирового океана имени академика И. С. Грамберга («ВНИИОкеангеология») в 2019 году с НИС «Иван Петров» (рис. 1, судовладелец — «Северное УГМС», г. Архангельск). Судно вышло в рейс 1 сентября и вернулось в Архангельск 10 октября 2019 года. В течение этого срока было полностью выполнено рейсовое задание. Работы выполнялись в северо-западной части моря Лаптевых и включали в себя сейсмоакустическое профилирование (600 пог. км) и станции донного пробоотбора (30 станций). Отобраны пробы донных осадков, которые далее будут исследованы в лабораториях «ВНИИОкеангеология», Санкт-Петербургского и Московского государственных университетов. По результатам исследований будут составлены геологические карты и схемы масштабов 1:1 000 000 и 1:2 500 000.



Рис. 1. Научно-исследовательское судно «Иван Петров» (судовладелец — «Северное УГМС»)

Государственная геологическая карта масштаба 1:1 000 000 (листы Т-49,50,51,52) Северо-Восточного Таймыра, внешней части шельфа моря Лаптевых и прилегающей глубоководной области Северного Ледовитого океана создаётся для получения геолого-картографической информационной

основы федерального уровня, обеспечивающей формирование единого информационного пространства в сфере недропользования. В дальнейшем будет проведена оценка ресурсного потенциала структурно-вещественных комплексов с локализацией перспективных площадей на предмет обнаружения проявлений различных видов полезных ископаемых, оценка перспектив нефтегазоносности шельфовой зоны и глубоководной области Евразийского бассейна.

Особенностью района работ является сложное геологическое строение: здесь происходит сочленение сейсмоактивного вулканического хребта Гаккеля с лаптевоморской частью [3]. В последние годы по внешней части моря Лаптевых получено множество сейсмических профилей МОВ ОГТ континентальной окраины Евразии, раскрывающих глубинное строение этой области [7]. Район осложнён системой разломов, часть из которых была активна на неотектоническом этапе развития [9]. С разрывными нарушениями связаны места разгрузки газов в водную толщу через покмарки [1]. По-видимому, с разгружающимися углеводородными газами во внешней части шельфа моря Лаптевых в осадках часто встречаются друзы кристаллов икаита [8]. Находки икаита в арктических морях нередки, ранее его находили в илах Карского и Чукотского морей, моря Лаптевых.

Методика экспедиционных исследований

При геологическом картировании шельфа, согласно Инструкции по проведению ГСШ-1000 [6], основными методами являются сейсмоакустическое профилирование, призванное раскрыть строение верхних горизонтов осадочного чехла, и донный пробоотбор, дающий информацию о вещественном составе картируемых сейсмокомплексов. Сейсмоакустическое профилирование и донный пробоотбор проводились с помощью бокс-корера и грунтовой трубки длиной 3 м. Колонки нескольких наиболее представительных грунтовых трубок опробованы, и затем образцы будут изучены различными методами. Будут исследованы количественный и видовой состав бентосных и планктонных фораминифер, морских моллюсков и остракод.

Сейсмоакустические работы выполнялись с помощью сейсмоакустического комплекса «СОНИК-4М». В его состав входят: высоковольтный блок возбуждения, разрядник сейсмический электроискровой (спаркер), приёмная сейсмическая станция и аналоговая одноканальная сейсмическая коса. В качестве источника возбуждения использовался разряд спаркера с 36-ю электродами и энергией 1000 Дж. Период следования разрядов — 3 сек. Спаркер буксировался в 20 метрах от среза кормы судна с заглублением 0,5 м. Приём отражённых сигналов осуществлялся на 15-метровую сейсмическую косу с 14-ю пьезокерамическими приёмниками, подключённую на один из входов 6-канальной сейсмостанции.

Результаты работ

Ранее, в 1995 и 1998 гг., на площади листов выполнялись сейсмоакустические исследования с борта немецкого ледокола «Поларштерн». Сейсмоакустические профили, полученные в 2019 году, охватывают различные структурные зоны Лаптевоморской континентальной окраины (рис. 2). Так, несколько профилей было заложено по притаймырскому мелководью, где осадочный чехол маломощен и прерывист и к поверхности морского дна приближаются комплексы складчатого основания. Как известно, на Восточном Таймыре обнажаются породы складчатого фундамента, которые имеют раннемезозойский возраст складчатости. Начиная со средней юры породы находятся в чехольном залегании. На профиле, ориентированном вкрест простирания складчатых структур (рис. 3), видны пликативные и дизъюнктивные деформации осадочного чехла.

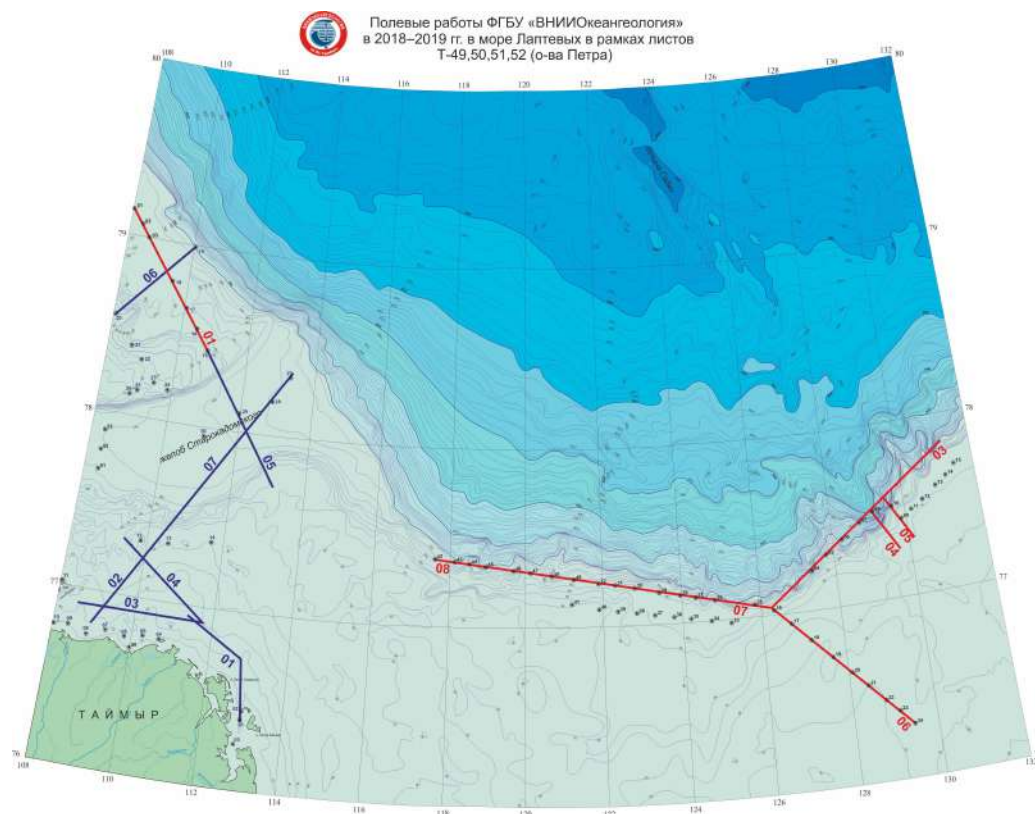


Рис. 2. Геолого-геофизические исследования, выполненные «ВНИИОкеангеология» по листам Т-49,50,51,52 (о-ва Петра) в 2018 (выделены красным цветом) и 2019 годах (выделены синим цветом)

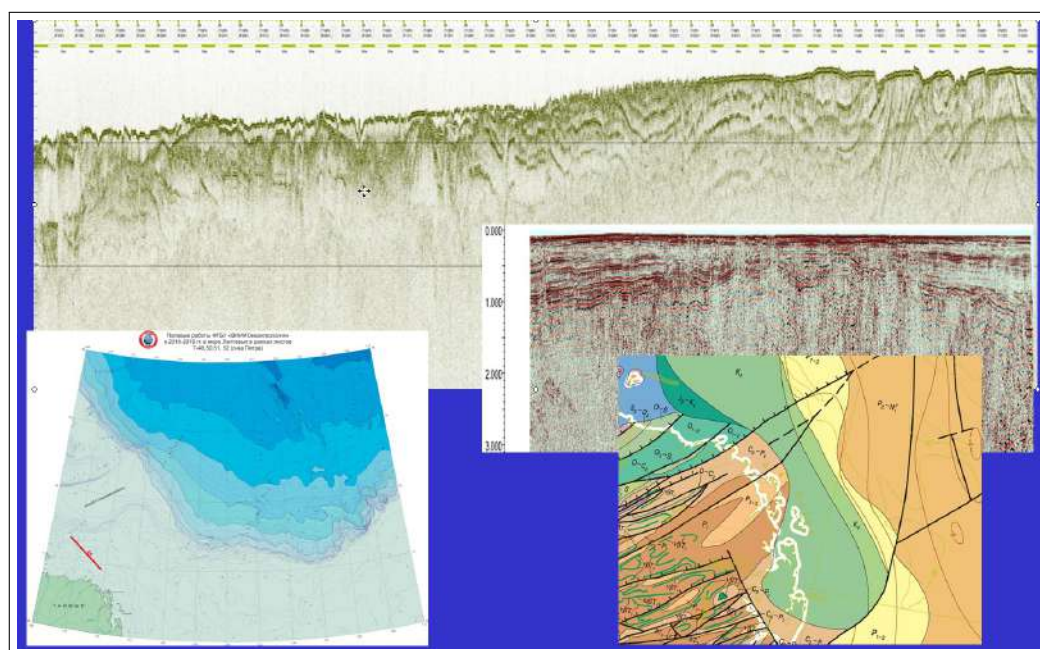


Рис. 3. Сейсмоакустический профиль с деформированным осадочным чехлом

В 2019 году был отработан сейсмоакустический профиль в районе, где отсутствовала батиметрическая информация (северо-западный угол планшета) (рис. 4). Район является областью наклонной расчленённой шельфовой равнины, прослеживающейся до бровки шельфа. По этой части площади будет отстроена батиметрическая карта и составлены карты доплиоценовых и плиоцен-четвертичных образований. Пока по имеющимся данным реконструируется блоковое строение этого района, вызванное, по-видимому, тектоническими движениями. Интересно будет сравнить вновь полученные сейсмоакустические данные с данными глубинной сейсмики МОВ ОГТ, полученными здесь же силами треста «Севморнефтегеофизика» в 2018 году. Вдоль линии сейсмоакустического профиля был проведён донный пробоотбор с помощью бокс-корера, что позволит оценить изменчивость гранулометрического и минерального состава донных осадков.

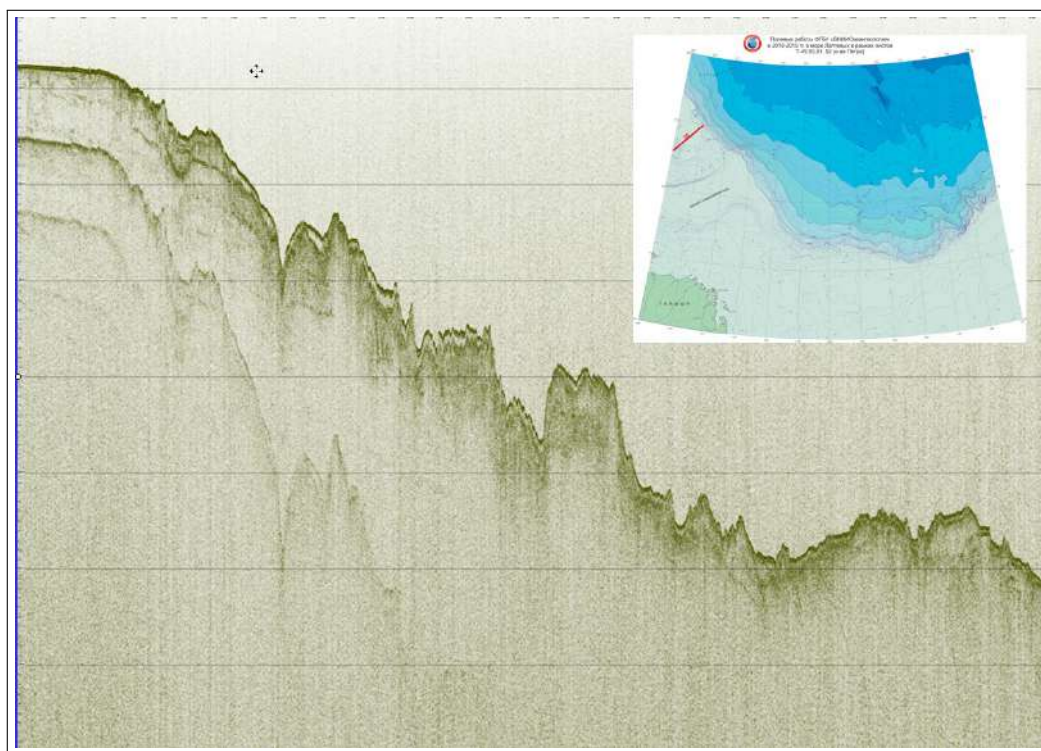


Рис. 4. Сейсмоакустический профиль по северо-западной части планшета, где ранее отсутствовала батиметрическая информация

Один из профилей 2019 года пересёк желоб Старокадомского. В ряду окраинно-шельфовых желобов: Медвежинского, Стур-фиорд, Орли, Франц-Виктория, св. Анны, Воронина — желоб Старокадомского является самым восточным. Один из желобов — Франц-Виктория — изучался в 2019 г. в рамках комплексной экспедиции «ТрансАрктика–2019» [10]. К востоку от моря Лаптевых до самой Аляски континентальный шельф очень мелководен и ровен, и не нарушен желобами. Интересно отметить, что северо-западный склон желоба Старокадомского является коренным, абразионным, а юго-восточный — аккумулятивным. На ровном днище желоба встречена зона деформаций со структурой, очень напоминающей грязевой вулкан с конусовидной вершиной (рис. 5). Измерения теплового потока, выполненные экспедицией «ВНИИОкеангеология» в 2018 году, показали повышенные значения [2]. Среднее значение измеренного теплового потока составило $69 \text{ мВт} \cdot \text{м}^{-2}$.

Часть результатов полевых исследований, выполненных в 2019 году, уже была представлена на ученом совете «ВНИИОкеангеология», а также на конференциях в Москве [5] и Санкт-Петербурге [4]. Ра-

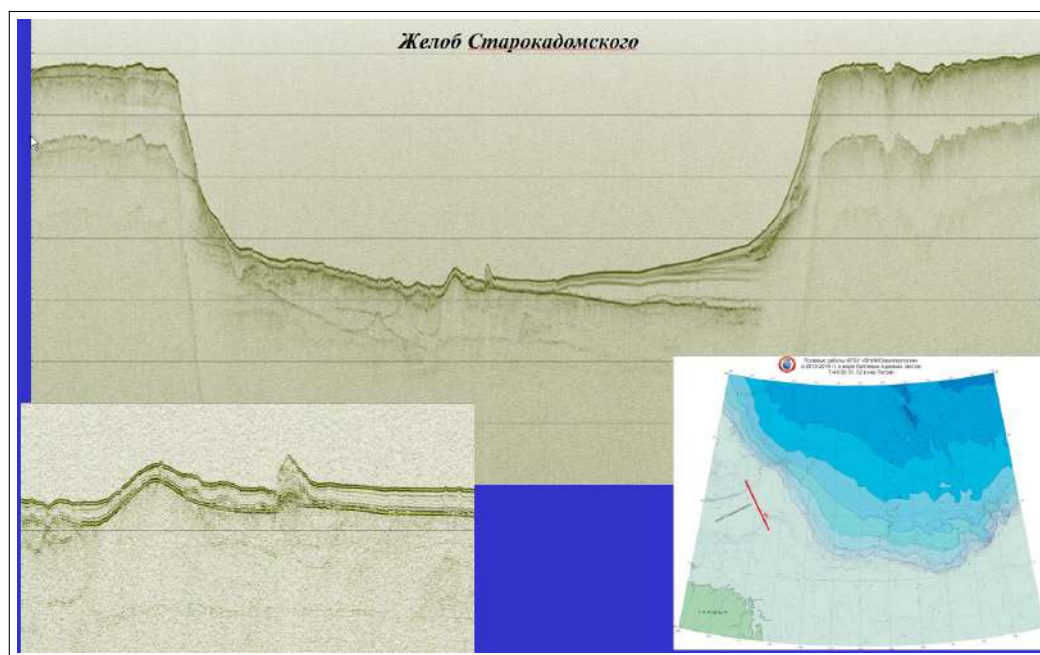


Рис. 5. Сейсмоакустический профиль через желоб Старокадомского. На увеличенном фрагменте — предположительно грязевой вулкан

бота выполнена на основании государственного задания «ВНИИОкеангеология». Обработка части проб проводилась в Российско-германской лаборатории полярных и морских исследований им. О. Ю. Шмидта. Сотрудники «ВНИИОкеангеология» сердечно благодарят экипаж и капитана НИС «Иван Петров» за обеспечение выполнения работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Система разломов, контролирующая метановые сипы на шельфе моря Лаптевых / Баранов Б. В., Лобковский Л. И., Дозорова К. А., Цуканов Н. В. // Доклады Академии наук. 2019. Т. 486, № 3. С. 354–358. DOI: [10.31857/S0869-56524863354-358](https://doi.org/10.31857/S0869-56524863354-358)
2. Геотермические измерения в море Лаптевых в ходе рейса НИС «Иван Петров» в 2018 году / Бочкарев А. В., Матвеева Т. В., Гусев Е. А., Гладыш В. А. // Геология морей и океанов : материалы XXIII Междунар. науч. конф. (школы) по мор. геологии. М., 2019. Т. II. С. 37–39.
3. Прилаптевоморское окончание хребта Гаккеля / Гусев Е. А., Зайончек А. В., Мэннис М. В., Рекант П. В., Рудой А. С., Рыбаков К. С., Черных А. А. // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона / ВНИИОкеангеология. СПб., 2002. Вып. 4. С. 40–54.
4. Первые результаты морских геолого-съёмочных работ в жёлобе Воронина (Карское море) и на континентальном склоне моря Лаптевых / Гусев Е. А., Крылов А. А., Новихина Е. С., Литвиненко И. В., Максимов Ф. Е., Петров А. Ю. // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России : материалы ежегод. конф. по результатам экспедиц. исслед. / ВНИИОкеангеология им. И. С. Грамберга. СПб., 2019. Вып. 5. С. 38–42.

5. Скорости голоценовой седиментации во внешней части шельфа морей Лаптевых и Карского / Гусев Е. А., Крылов А. А., Максимов Ф. Е., Петров А. Ю., Яржембовский Я. Д., Бочкарев А. В., Новихина Е. С., Литвиненко И. В., Семенов П. Б., Сухоплюева А. С., Малышев С. А., Крылов А. В., Казарезов Д. А., Шпильхаген Р. // Геология морей и океанов : материалы XXIII Междунар. науч. конф. (школы) по мор. геологии. М., 2019. Т. II. С. 49–52.
6. Инструкция по организации и производству мелкомасштабной геологической съемки шельфа и составлению Государственной геологической карты шельфа СССР масштаба 1: 1 000 000 / ПГО «Севморгеология». Л., 1990. 98 с.
7. Кириллова-Покровская Т. А. Разработка актуализированной геологической модели моря Лаптевых и сопредельных глубоководных зон для уточнения оценки его углеводородного потенциала // Разведка и охрана недр. 2017. № 10. С. 30–38.
8. Новые находки икаита ($\text{CaCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) в море Лаптевых / Крылов А. А., Гусев Е. А., Семенов П. Б., Кузнецов А. Б., Кржижановская М. Г., Малышев С. А., Литвиненко И. В. // Геология морей и океанов : материалы XXIII Междунар. науч. конф. (школы) по мор. геологии. М., 2019. Т. II. С. 290–292.
9. Рекант П. В., Гусев Е. А. Признаки новейших тектонических движений на Лаптевоморской континентальной окраине по данным сейсмоакустического профилирования // Проблемы Арктики и Антарктики. 2009. № 2. С. 85–94.
10. Трансарктика — 2019: зимняя экспедиция в Северный Ледовитый океан на НЭС «Академик Трёшников» / Фролов И. Е., Иванов В. В., Фильчук К. В., Макштас А. П., Кустов В. Ю., Махотина И. А., Иванов Б. В., Уразгильдеева А. В., Сёмин В. Л., Зими́на О. Л., Крылов А. А., Богин В. А., Захаров В. Ю., Малышев С. А., Гусев Е. А., Барышев П. Е., Пильгаев С. В., Ковалев С. М., Тюряков А. Б. // Проблемы Арктики и Антарктики. 2019. № 3. С. 255–274.

СИСТЕМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЕВРОПЕЙСКОЙ АРКТИКИ В 75-М РЕЙСЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО СУДНА «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ»

А. А. Ключиткин*, М. Д. Кравчишина, И. А. Немировская, Б. В. Баранов, А. И. Коченкова, А. П. Лисицын

Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН

*klyuvitkin@ocean.ru

Северная Атлантика и западная часть Евразийской Арктики играют ключевую роль в системе формирования климата Европы. Процессы, определяющие температуру в Арктике, являются одними из наиболее чувствительных элементов окружающей среды. В последние годы усиливается «атлантификация» Северного Ледовитого океана, что способствует переносу тепла и вещества через пролив Фрама и Баренцево море [4 ; 5].

Основная цель экспедиции — сопряжённые седименто-биогеохимические, геологические и экологические исследования европейской части Арктики в системе рассеянное осадочное вещество приводного слоя атмосферы и водной толщи — верхний слой осадка — подстилающие донные отложения. Изучение одновременно рассеянных (взвесь) и связанных (донные осадки) форм осадочного вещества позволит обоснованно судить об изменениях морской среды и климата Европы [2].

В ходе экспедиции (27 мая — 30 июня 2019 г.) выполнена 91 океанологическая станция, пройдено 5785 морских миль (рис. 1). Район исследований охватывал активные срединно-океанические хребты Мона и Книповича, отмерший хребет Эгир, глубоководные котловины Норвежского и Гренландского морей, континентальный склон архипелага Шпицберген, желоба-троги западной континентальной окраины Баренцева моря и его южный шельф. Для этих структур составлены как генеральные, так и локальные батиметрические профили, а для полигонов детальных исследований в пределах гидротермальных полей хребта Мона подготовлены батиметрические карты. Были получены новые данные, которые позволят исследовать тектоническое строение и гидротермальную активность изученного региона.

Выполнены разрезы по гидрологическим параметрам субширотного и субмеридионального простирания, что позволит оценить сезонный перенос атлантических вод в арктический бассейн, выявить положение и влияние полярного фронта на структуру вод, планктонное сообщество и на особенности формирования состава взвеси в раннелетний сезон.

Продолжены начатые ранее [1] исследования роли эндогенного материала в современных осадочных процессах в океане на примере субполярного участка Срединно-Атлантического хребта. Проведено детальное опробование водной и осадочной толщ на четырёх гидротермальных полях, расположенных в пределах Ян-Майенского осевого вулканического поднятия в южной части хребта Мона (рис. 2). Исследовано гидротермальное поле Локис Касл на севере хребта Мона. У дна выявлены аномалии температуры, плотности, концентрации кислорода и метана. Отобраны пробы воды, взвеси, гидротермально изменённые донные осадки, образцы гидротермальных построек и марганцевые корки с низким содержанием железа.

Выполнен отбор донных осадков и воды в местах выходов метаносодержащих растворов и газовых струй из осадочных толщ (холодные метановые сипы) на континентальной окраине архипелага Шпицберген и в жёлобе Стур-фьорд. В центральной части Баренцева моря обследованы два кратера (диаметром около километра), связанные с крупномасштабным выбросом метана, образовавшегося при бурном разложении газогидратов в результате отступления ледникового щита [3].

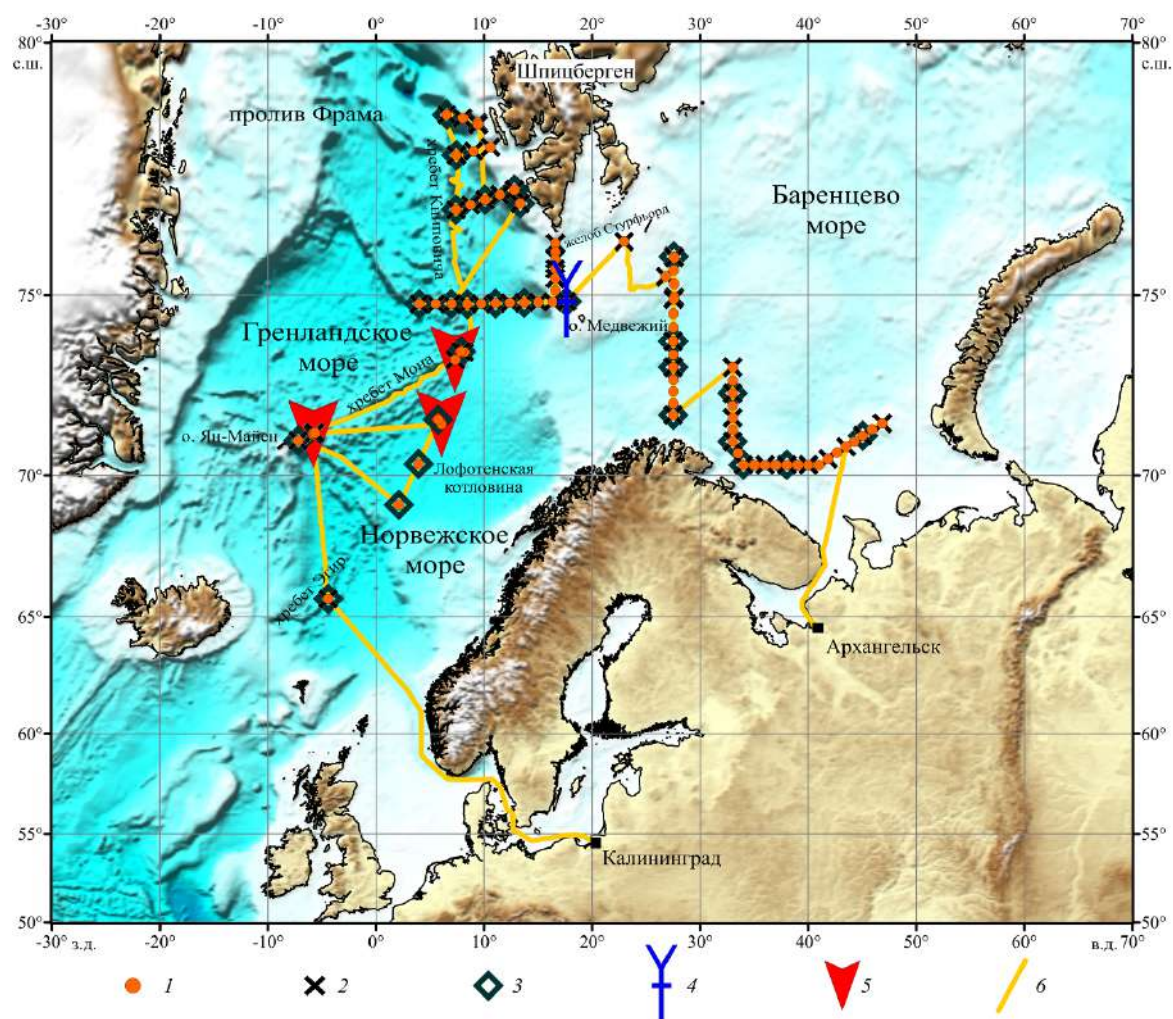


Рис. 1. Карта-схема района работ и выполненных исследований в 75-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш», май — июнь 2019 г.: 1 — комплексные океанологические станции, 2 — отбор донных осадков дночерпателем (ДЧ), 3 — отбор донных осадков МК, 4 — отбор донных осадков ТБД, 5 — автоматические глубоководные седиментационные обсерватории (АГОС), 6 — маршрут судна

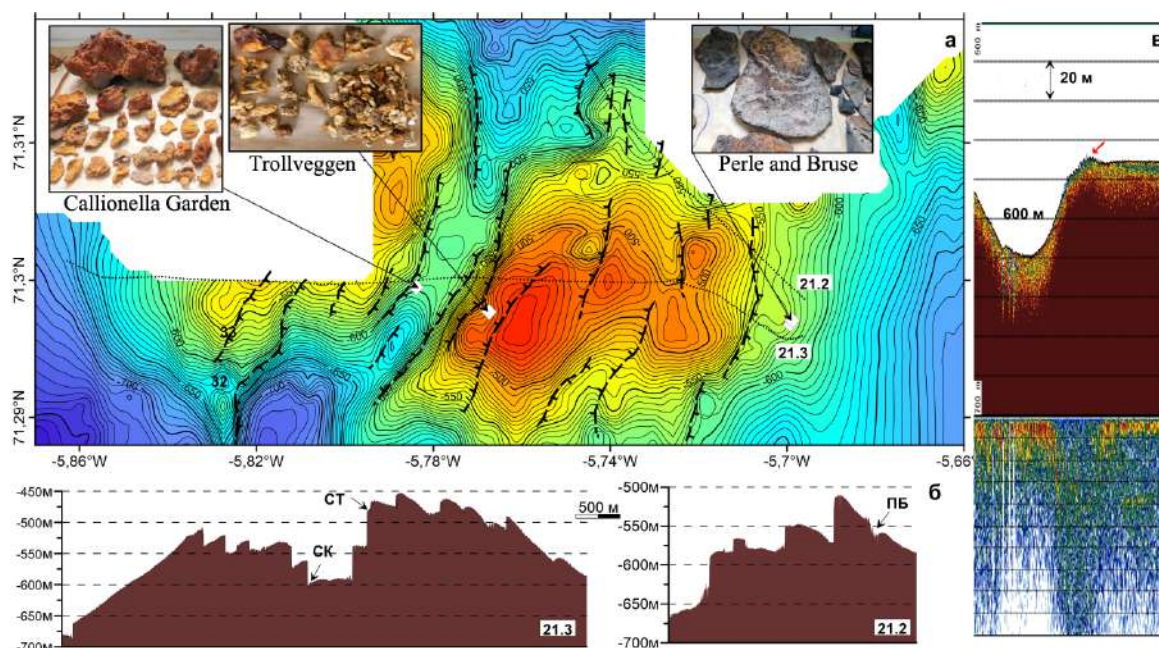


Рис. 2. Батиметрическая карта северной части Ян-Майенского полигона с положением сбросовых уступов (пунктирные линии с бергштрихами) и станций (белые ромбы), на которых были подняты гидротермальные отложения, показанные на врезках (а); батиметрические профили с наличием сбросовых уступов, характерные для осевой зоны хребта (б); фрагмент эхограммы, на которой виден отражающий горизонт зелёного цвета, выходящий на поверхность (красная стрелка) (в)

Аэрозоли приводного слоя атмосферы изучены на содержание речного (сажевого) углерода. На открытых морских участках преобладают низкие концентрации сажевого углерода ($10\text{--}50 \text{ нг}\cdot\text{м}^{-3}$), которые допустимо считать фоновыми. Повышенные концентрации сажевого углерода ($80\text{--}90 \text{ нг}\cdot\text{м}^{-3}$) встречаются в Норвежском и Баренцевом морях вблизи берега вдоль рекомендованного маршрута движения судов.

Исследование рассеянного осадочного вещества водной толщи выполнялось параллельно несколькими взаимодополняющими методами. Выделение вещества проводилось с помощью вакуумной фильтрации. Гранулометрический состав определялся кондуктометрическим методом на счётчике частиц Коултера (Beckman Coulter Multisizer 3). Впервые в составе зондирующего комплекса SBE911, помимо обычного нефелометра WET Labs, был задействован лазерный анализатор частиц Sequoia LISST-deep, который позволяет получать непрерывный вертикальный профиль гранулометрического состава и объёмной концентрации взвеси *in-situ* (рис. 3).

Вертикальные потоки осадочного вещества изучали с помощью седиментационных ловушек в составе автоматических глубоководных седиментационных обсерваторий (АГОС). В Лофотенской котловине поднята АГОС, завершившая 2-летний цикл работы. Новая долгосрочная постановка АГОС выполнена на периферии гидротермального поля Лопис Касл с целью оценить внутригодовую изменчивость потока эндогенного вещества на изученном участке Срединно-Атлантического хребта. Краткосрочные АГОС отработали на гидротермальном полигоне Ян-Майен — поле Тролльвегген и Сория Мориа. В составе осадочного вещества в придонном 30-метровом слое установлены сульфидные и сульфатные минералы гидротермального генезиса (рис. 4), а самописцы среды АГОС (температура, течения, акустическая прозрачность и др.) выявили динамику латеральных потоков изученных гидротермальных плюмов (рис. 5).

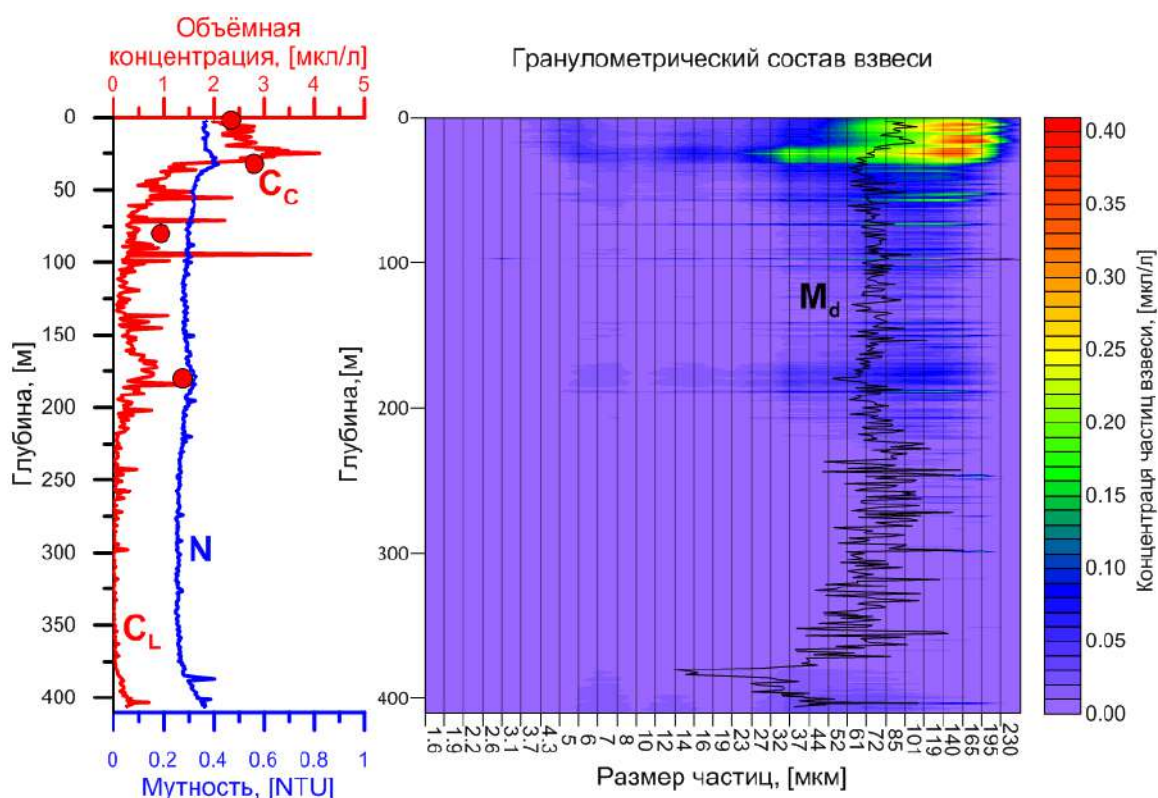


Рис. 3. Вертикальные профили мутности (N), объёмной концентрации взвеси по данным LISST-Deep (C_L) и счетчика Коултера (C_C), гранулометрический состав (32 фракции по LISST-Deep) и медианный диаметр (M_d) частиц на ст. 6189 в Медвежинском жёлобе (74°11,981' с. ш., 27°29,983' в. д.)

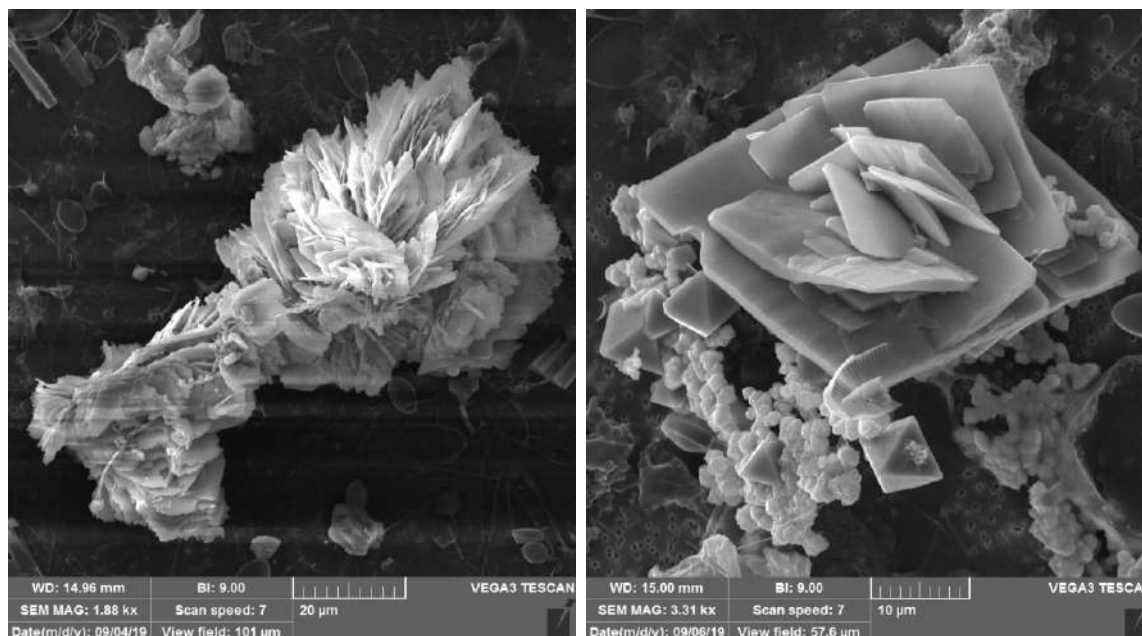


Рис. 4. Агрегаты барита из придонных седиментационных ловушек на гидротермальном поле Троллевегген (слева) и Сория Мориа (справа) в юго-западной части хр. Мона

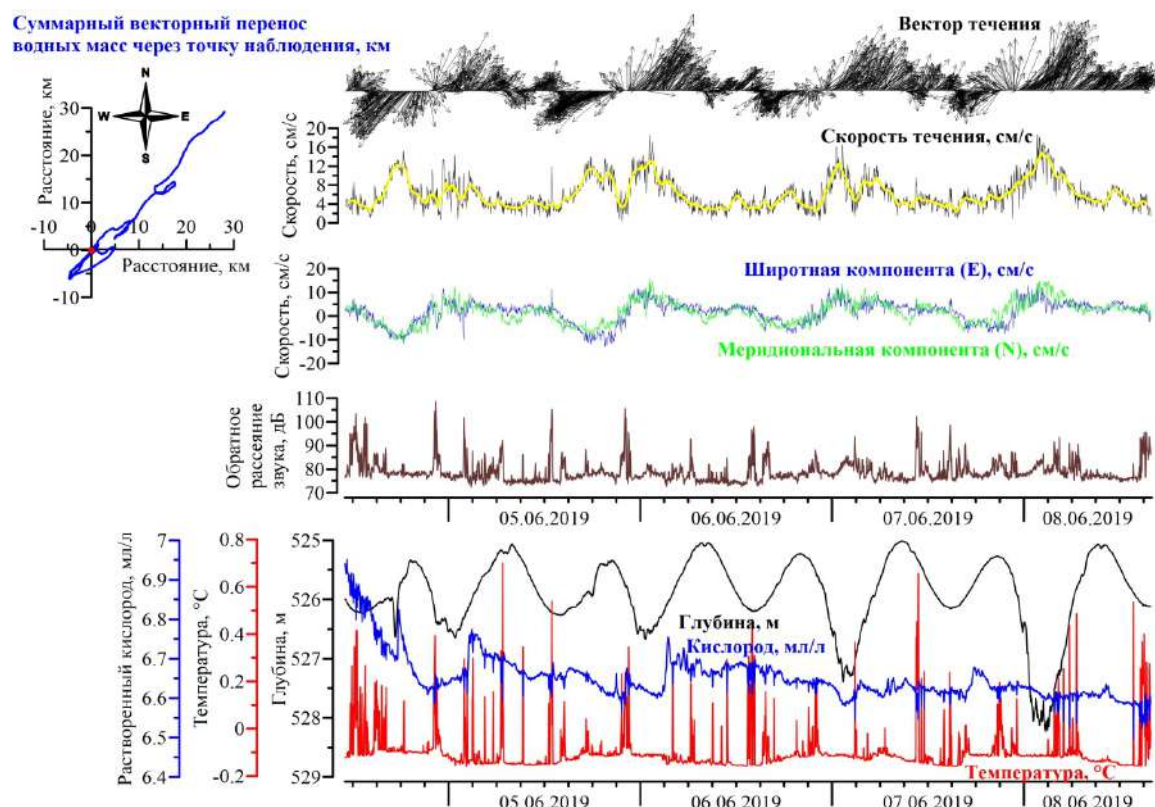


Рис. 5. Изменчивость параметров среды в придонном горизонте на поле Тролльвегген (АГОС-1) по данным измерителя течений Nortek Aquadopp и CTD-профилографа SBE37

Донные осадки с поверхности отбирали дночерпателем (ДЧ) «Океан-0.25». Детальность отбора ненарушенного верхнего слоя с дискретностью 0,5–1 см достигалась с помощью мультикорера (МК) KUM MiniMUC. Обработано 27 МК и 80 ДЧ, произведена отмывка материала ледового разноса из ДЧ. В жёлобе Квейтола к северо-западу от о. Медвежий ударной трубкой большого диаметра отобрана колонка донных осадков длиной 7,05 м. Вскрыта толща донных осадков дрефта Квейтола с включениями целых раковин двустворчатых моллюсков, перспективных для установления абсолютного возраста радиоуглеродным методом. Колонка представляет интерес для исследования климатических колебаний, миграций полярного фронта и палеопродуктивности европейской части Арктики за последние ~ 7 тыс. лет.

Эколого-геохимические исследования выявили увеличение концентрации углеводородов (УВ) во взвеси поверхностного слоя южной части Баренцева моря по сравнению с восточными и западными разрезами в районе Шпицбергена (рис. 6). В открытой части акватории содержание и состав УВ формируют природные процессы. В придонном слое концентрация УВ значительно ниже. Отмечены различия в составе алканов из взвеси придонного горизонта и наилка.

Экспедиция проведена в соответствии с планом морских экспедиций на научно-исследовательских судах Минобрнауки России. Финансирование судосудок осуществлялось из средств госзадания «Перевозка пассажиров и (или) грузов при обеспечении научных исследований». Финансирование участия научного состава экспедиции осуществлялось в рамках госзадания ИО РАН по теме № 0149-2019-0007, эколого-геохимические исследования проводились при финансовой поддержке Российского научно-

го фонда (проект № 19-17-00234), работа АГОС обеспечена Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 19-05-00787).

Работы в экспедиции обеспечивают выполнение исследований по госзаданиям Минобрнауки России: темы № 0149-2019-0007, № 0149-2019-0013, № 0128-2019-0010, № 0128-2019-0011, № 0128-2019-0009, № 0149-2019-0005, № 0149-2019-0010.

Авторы признательны капитану, команде и всему научному коллективу за помощь в экспедиции.

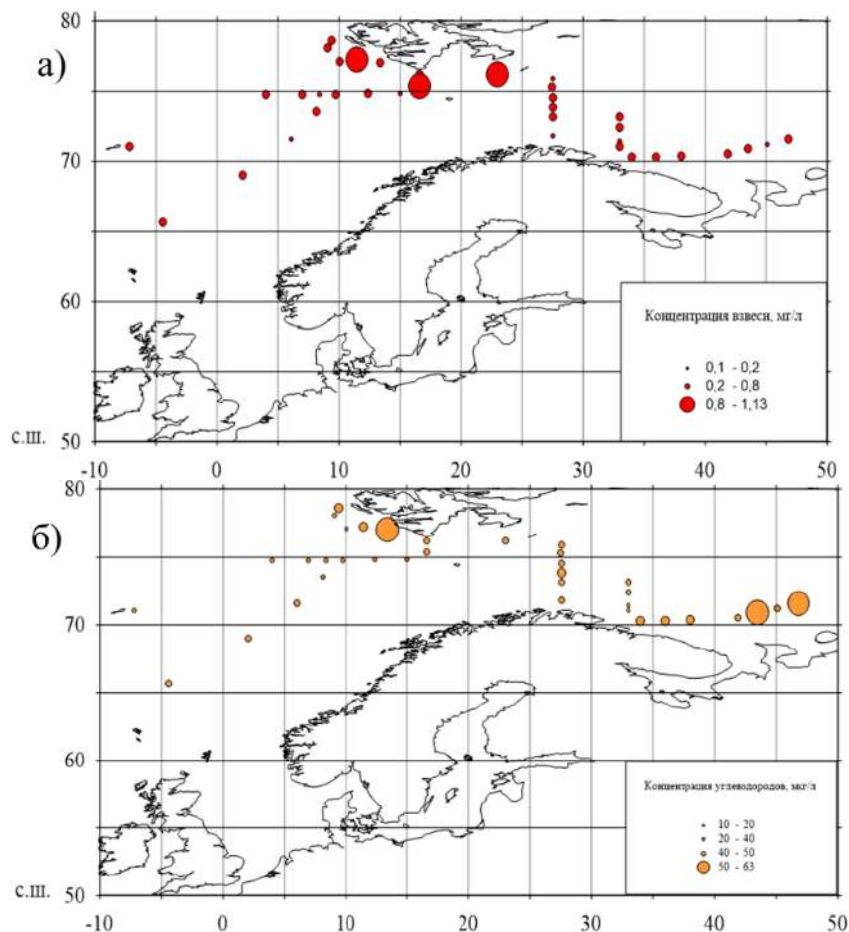


Рис. 6. Распределение взвеси (а) и алифатических УВ (б) по маршруту экспедиции

ЛИТЕРАТУРА

1. Гидротермальные минеральные ассоциации на 71° с. ш. Срединно-Атлантического хребта (первые результаты) / Кравчишина М. Д., Леин А. Ю., Боев А. Г. [и др.] // Океанология. 2019. Т. 59, № 6. С. 1039–1057. DOI: [10.31857/S0030157459610391057](https://doi.org/10.31857/S0030157459610391057)
2. Лисицын А. П. Современные представления об осадкообразовании в океанах и морях. Океан как природный самописец взаимодействия геосфер Земли // Мировой океан. Т. II / отв. ред. Л. И. Лобковский, Р. И. Нигматулин. М. : Научный мир, 2014. С. 331–571.

3. Massive blow-out craters formed by hydrate-controlled methane expulsion from the Arctic seafloor / Andreassen K., Hubbard A., Winsborrow M. [et al.] // Science. 2017. Vol. 365, issue 6341. P. 948–953. DOI: [10.1126/science.aal4500](https://doi.org/10.1126/science.aal4500)
4. Lind S., Ingvaldsen R. B., Furevik T. Arctic warming hotspot in the northern Barents Sea linked to declining sea-ice import // Nature Climate Change. 2018. Vol. 8. P. 634–639. DOI: [10.1038/s41558-018-0205-y](https://doi.org/10.1038/s41558-018-0205-y)
5. Greater role for Atlantic inflows on sea-ice loss in the Eurasian Basin of the Arctic Ocean / Polyakov I. V., Pnyushkov A. V., Alkire M. B. [et al.] // Science. 2017. Vol. 365, issue 6335. P. 285–291. DOI: [10.1126/science.aai8204](https://doi.org/10.1126/science.aai8204)

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНЫХ МОРСКИХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ММБИ КНЦ РАН В АКВАТОРИЯХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО СЕКТОРА АРКТИКИ В 2019 ГОДУ

П. Р. Макаревич, Д. Г. Ишкулов, И. В. Берченко, Е. И. Дружкова, А. В. Ежов, О. Л. Зимина, Г. В. Ильин, О. В. Карамушко, Д. В. Моисеев, А. А. Олейник

Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра РАН

В 2019 году Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра РАН (ММБИ КНЦ РАН) провёл 3 комплексные экосистемные экспедиции на НИС «Дальние зеленцы»:

- с 3 по 21 апреля 2019 г. (рис. 1),
- с 18 июня по 7 июля 2019 г. (рис. 2),
- с 24 октября по 28 ноября 2019 г. (рис. 3).

Основные районы исследований: разрезы «Кольский меридиан» и Зеленецкий, прикромочная акватория и северо-восточная часть Баренцева моря, район архипелага Шпицберген. Всего в трёх экспедициях в 2019 г. сделано 228 станций, на которых проведено 228 STD-зондирований, отобрано 353 гидрохимические пробы, 331 проба на хлорофилл *a*, 268 проб бактериопланктона, 721 проба фито- и микрорепланктона, 128 проб зоопланктона. Проводились наблюдения за морскими птицами и млекопитающими. Отобрано 168 проб на радиационное загрязнение (133 пробы воды, 18 проб поверхностного слоя и 17 кернов донного осадка), а также 22 пробы на тяжёлые металлы (11 проб донного осадка и 11 проб биоты).

Кроме этого был выполнен ряд работ в Карском море и в прибрежных акваториях Баренцева и Белого морей.

Основные научные результаты, полученные в ходе проведения морских научных исследований

Продолжены многолетние экспедиционные исследования радиационной и гидрологической структуры фронтальных зон в Баренцевом море.

На примере климатического полярного фронта показано, что фронтальные разделы являются механизмом быстрой диссипации поступающего потока радионуклидов за счет генерации интрузий и вихрей микро- и мезомасштаба.

Дана характеристика роли фронтальных разделов и полярного фронта в процессах перераспределения поступающего с западной границы Баренцева моря потока техногенных радионуклидов. Здесь происходит диссипация поступающего потока радионуклидов за счёт водообмена при смешивании, генерации интрузий и вихрей.

В отличие от других фронтальных разделов квазистационарный климатический полярный фронт обеспечивает перераспределение транспортируемых тёплыми течениями радионуклидов в глубинные слои моря в зонах конвергенции.

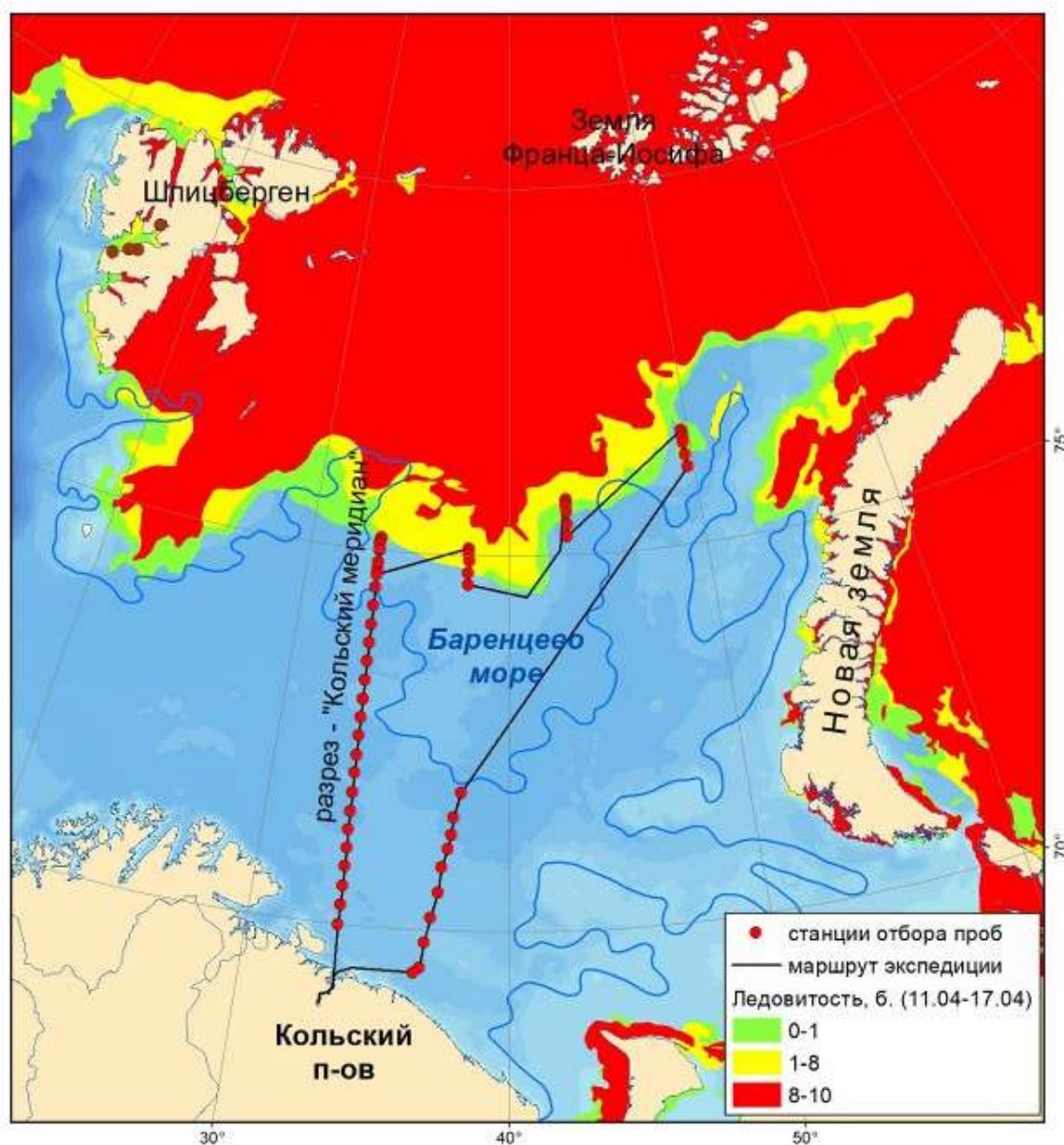


Рис. 1. Станции и маршрут комплексной экспедиции на НИС «Дальние Зеленцы» в период с 3 по 21 апреля 2019 г. Ледовая обстановка показана по данным The U.S. National Ice Center www.natice.noaa.gov за период с 11 по 17 апреля 2019 г. Среднемноголетнее положение полярного фронта показано кривой синего цвета

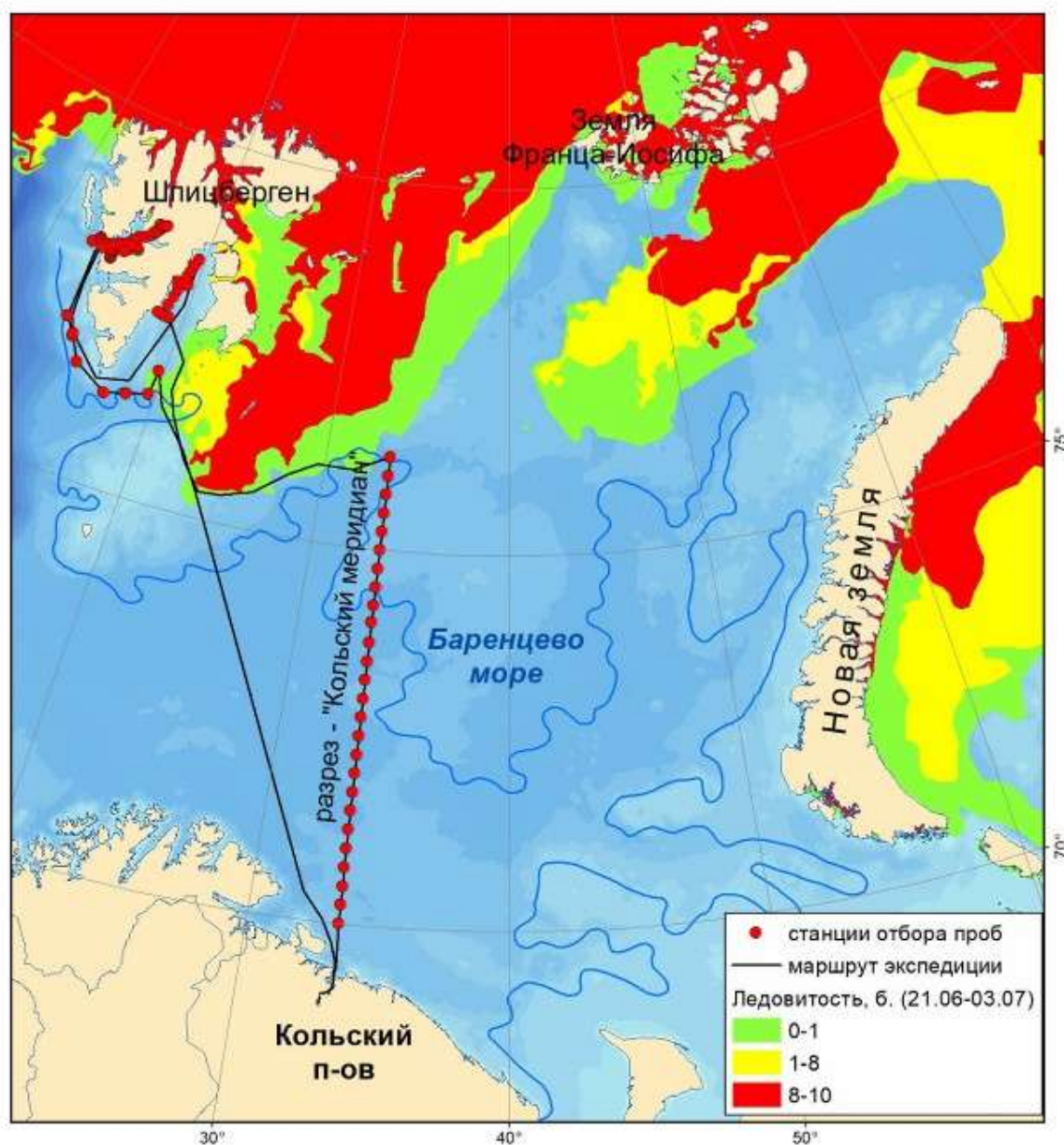


Рис. 2. Станции и маршрут комплексной экспедиции на НИС «Дальние Зеленцы» в период с 18 июня по 7 июля 2019 г. Ледовая обстановка показана по данным The U.S. National Ice Center www.natice.noaa.gov за период с 26 июня по 3 июля 2019 г. Среднемноголетнее положение полярного фронта показано кривой синего цвета

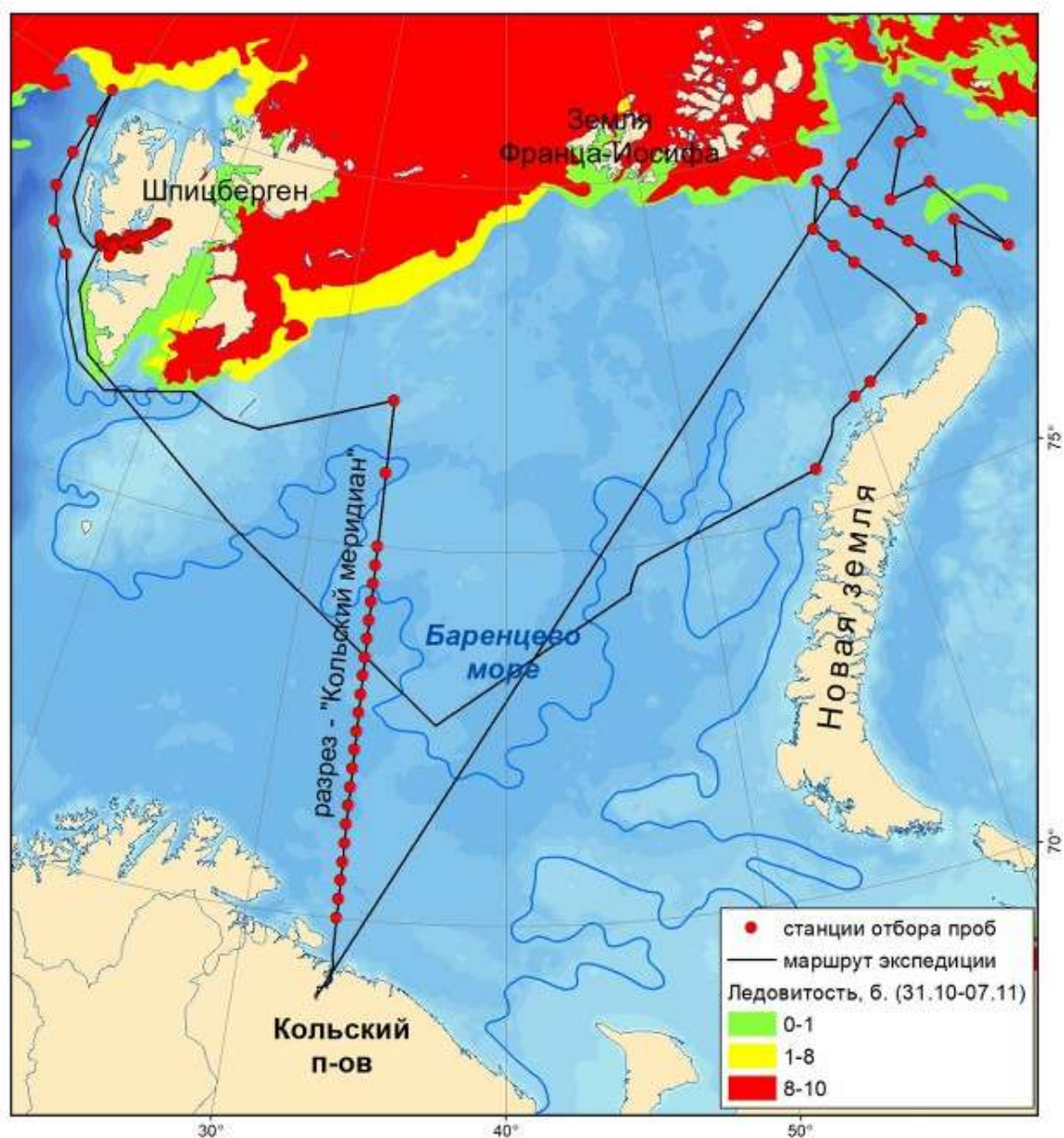


Рис. 3. Станции и маршрут комплексной экспедиции на НИС «Дальние Зеленцы» в период с 24 октября по 28 ноября 2019 г. Ледовая обстановка показана по данным The U.S. National Ice Center www.natice.noaa.gov за период с 31 октября по 7 ноября 2019 г. Среднемноголетнее положение полярного фронта показано кривой синего цвета

Установлено, что в прикромочной зоне Баренцева моря массовое развитие планктонных водорослей происходит на протяжении всего весенне-летнего периода.

Во время экспедиционного сезона 2019 г. проводились исследования структурной организации и функционирования пелагического фитоценоза в прикромочной зоне Баренцева моря. Показано, что прикромочное цветение носит циклический характер и реализуется на протяжении всего светового периода. Установлено, что весной сообщество нановодорослей развивается в верхнем 50-метровом слое (численность от 120 до 300 тыс. кл. \cdot л⁻¹, биомасса не более 20 мкг \cdot л⁻¹). В июле при численности около 4 млн кл. \cdot л⁻¹ биомасса достигает значения 700 мкг \cdot л⁻¹. При анализе пространственного распределения проявляется выраженный прикромочный эффект.

На настоящий момент в литературе есть две основные точки зрения на развитие прикромочного цветения. Наиболее популярная такова: прикромочное цветение в Баренцевом море достигает своих максимальных значений весной, на свободной ото льда акватории, и затухает в летние месяцы. Согласно нашим данным более обоснована вторая: цветение носит циклический характер и реализуется в течение всего весенне-летнего периода.

Выявлены причины, влияющие на точность таксономического определения видов рода *Calanus* и, как следствие, приводящие к искажённым оценкам воздействия климатических изменений на планктонные сообщества Арктики.

Согласно современным представлениям *Calanus finmarchicus* и *C. glacialis* являются видами-индикаторами атлантических и арктических водных масс. При этом последнее десятилетие характеризуется появлением ряда научных работ, свидетельствующих о значительной неточности оценок обилия *C. finmarchicus* и *C. glacialis* в местах совместного существования, полученных с помощью традиционного (разделение по размерам) метода идентификации видов. Задачей наших исследований являлось детальное изучение размерных характеристик особей обеих популяций и выявление закономерностей, влияющих на результативность традиционного морфометрического метода разделения двух видов.

В дополнение к размерной характеристике особей нами был использован показатель цветности (наличие жирового запаса оранжевого или темно-зелёного цвета, а также его отсутствие) (рис. 4).



Рис. 4. Особи с различным цветом содержимого жирового мешка

В результате было отмечено увеличение размера особей в направлении от более молодых (бесцветных) к более старым (с липидным мешком яркого цвета) в пределах одной копеподитной стадии. Сравнение материала, отобранного на станциях с различными абиотическими условиями (Грен-фьорд и Булле-фьорд), выявило ряд различий как в соотношении количества особей двух вышеуказанных групп, так и в смещении их размерных спектров относительно друг друга. Данные факты свидетельствуют о влиянии локальных условий среды на морфометрические характеристики обоих видов.

В основе стандартного метода разделения видов *Calanus* sp. в местах их совместного существования лежат различия в их размерных диапазонах, единожды определённых в акваториях, где ареалы их обитания не пересекаются. Однако наличие роста особей в пределах копеподитной стадии и воздействие на него локальных характеристик среды, то есть времени и места, могут существенно влиять на положение границы пересечения размерных диапазонов двух видов, что и вызывает недо- или переоценку обилия того или другого вида.

Впервые получена количественная оценка инвазии атлантической флоры в пелагиаль Баренцева моря, выделены районы с разной восприимчивостью к новым флористическим элементам, определён вектор инвазии.

Для количественной оценки инвазии атлантической флоры в пелагиаль Баренцева моря были рассчитаны индексы α , N и P , характеризующие подверженность отдельных участков акватории влиянию атлантической флоры (рис. 5).

α — число видов-индикаторов инвазии, отмеченное на данном участке за период 2007–2018 гг.

N — мера интенсивности инвазии.

$$N = \frac{(n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_x)}{+x} = \frac{\sum n_i}{+x},$$

где n_i — число новых видов в каждом из x измерений в квадрате $i[1, x]$; $+x$ — число измерений, в которых эти виды отмечены.

P — мера регулярности (частоты) инвазии.

$$P = \frac{+x}{x}$$

На представленной схеме выявляются две области постоянной инвазии: юго-западная и северная части моря. Соответственно, наблюдаются два вектора инвазии: от юго-западной границы в направлении на северо-восток/восток и от северо-западной границы в направлении на юг/юго-восток.

В морских экспедиционных исследованиях 2016–2019 г.г. впервые получены данные по распределению арктических видов рода *Liparis* в Карском, Лаптевых и Восточно-Сибирском морях (рис. 6).

Исходя из того, что виды рода *Liparis* не являются мигрирующими, существенное изменение пространственно-временного распределения видов может достаточно точно отражать динамику экосистемных процессов в периоды климатических флуктуаций, то есть данные виды рыб могут являться индикаторными.

На основе комплексных наблюдений (включая дистанционные) проведён анализ экологии моевки (*Rissa tridactyla*) и сформулирована гипотеза о формировании новоземельской популяции в Баренцевом море за счёт притока птиц из двух центров её ареала: с запада (из Северной Атлантики) и с востока (из Тихоокеанского региона).

В ходе экспедиций 2019 г. проанализировано распространение и видовой состав специфической глубоководной группы видов ракообразных и двустворчатых моллюсков в окраинных районах Баренцева моря.

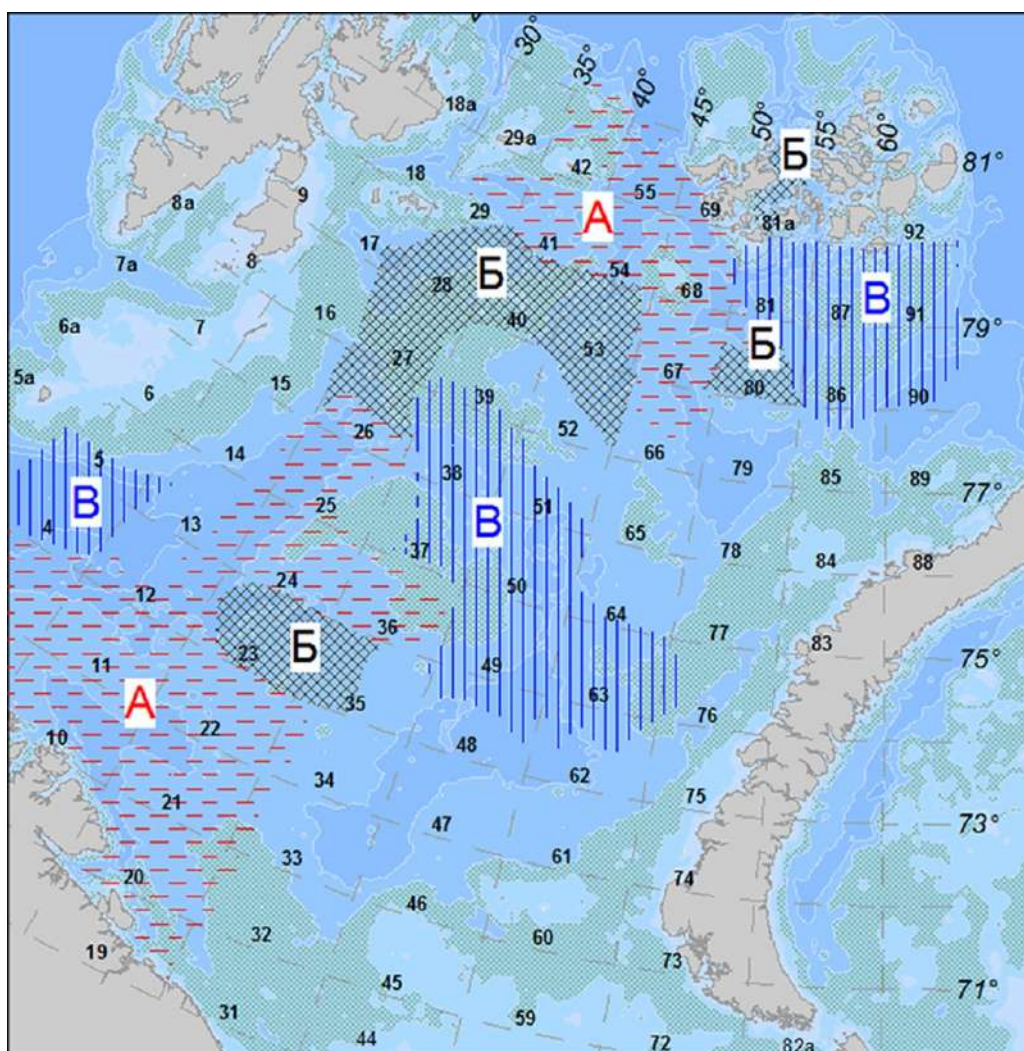


Рис. 5. Схема трёхуровневого ранжирования акватории Баренцева моря, исследованной в 2007–2018 гг., по значениям P (регулярность инвазии). Областям, обозначенным на схеме А, Б и В, соответствует регулярность инвазии $P = 0,8–1$; $0 < P < 0,8$ и $P = 0$

Обследованы глубоководные районы северной и северо-восточной частей Баренцева моря (желоба Франца-Виктории и Святой Анны) и северо-западной окраины архипелага Шпицберген с глубинами до 500 м. Здесь отмечен ряд видов ракообразных и двусторчатых моллюсков, относящихся к донной фауне полярного бассейна, редких и нетипичных для Баренцева моря, но поднимающихся по склонам желобов в его окраинные районы на относительно небольшие глубины (до 350 м). Проанализирован видовой состав и особенности распространения этой специфической группы видов в окраинных районах моря.

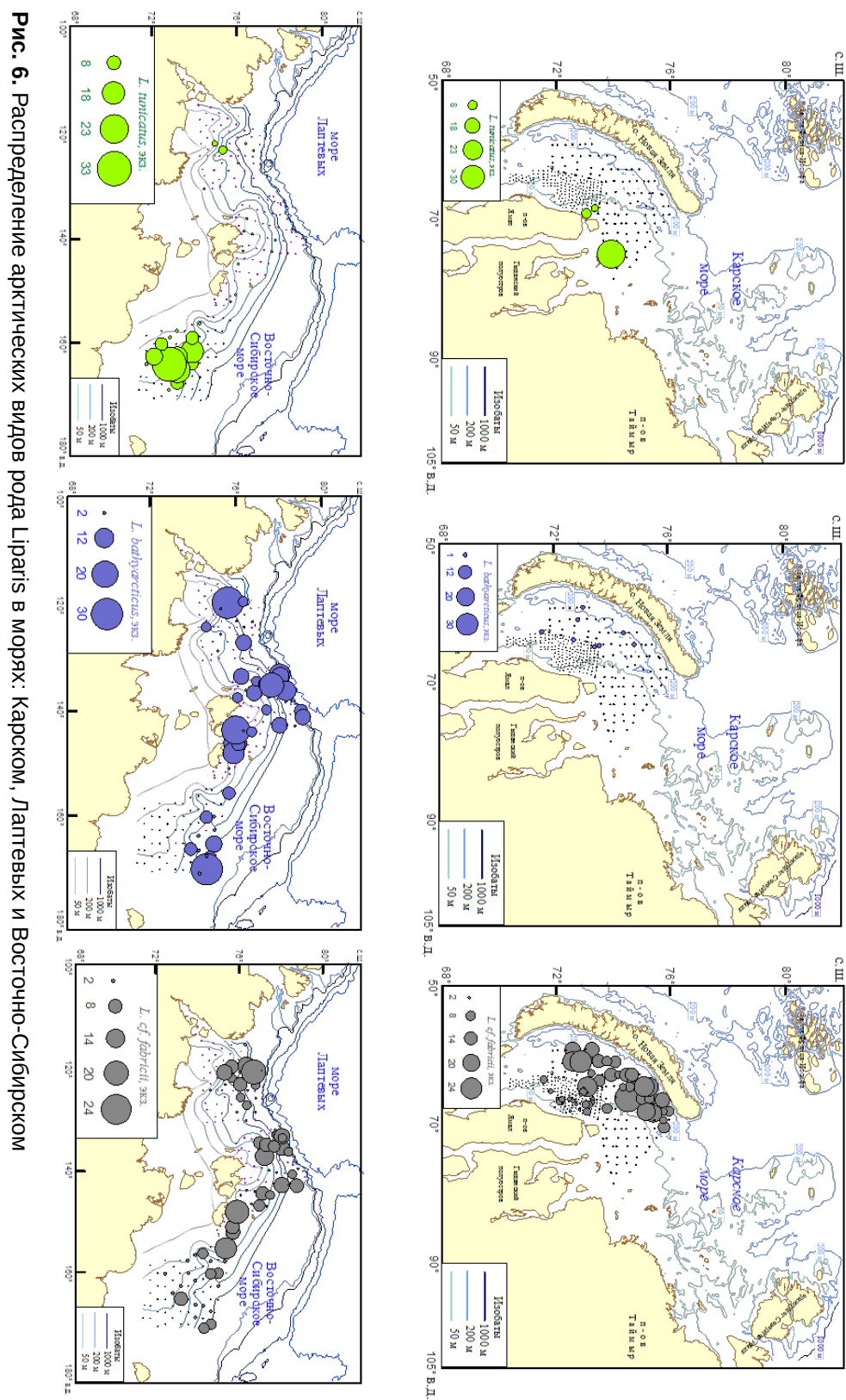


Рис. 6. Распределение арктических видов рода *Litavis* в морях: Карском, Лаптевых и Восточно-Сибирском

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕЛАГИАЛИ БЕЛОГО МОРЯ: ДИНАМИКА ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ (ГИДРОЛОГИЯ, ГИДРОХИМИЯ, ЗООПЛАНКТОН) ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОРСКИХ ЭКСПЕДИЦИЙ И ЕЁ СВЯЗЬ С ИЗМЕНЕНИЯМИ КЛИМАТА

Д. М. Мартынова, Н. В. Усов, И. П. Кутчева, В. В. Смирнов, А. А. Сухотин

Беломорская биологическая станция
Зоологический институт РАН

Морские экспедиционные исследования Зоологического института РАН (ЗИН РАН) в 2019 году были направлены на изучение состояния биоразнообразия Белого моря, устойчивости донных и пелагических сообществ к воздействию факторов среды, как природных, так и антропогенных. Экспедиция ЗИН РАН в 2019 году состояла в общей сложности из 27 рейсов, из которых 22 коротких рейса представляют собой продолжение ранее начатых наблюдений за прибрежными экосистемами, а именно исследований сезонных и многолетних изменений беломорского зоопланктона и гидрологических показателей. Климатические изменения последних десятилетий особенно интенсивны в высоких широтах, в частности в Арктическом и Субарктическом регионах России. Планктонные организмы, населяющие верхние слои водной толщи и наиболее подверженные влиянию атмосферы, крайне чувствительны к этим изменениям, поскольку характеризуются относительно короткими жизненными циклами (в среднем от 2 месяцев до 3–4 лет). Зоопланктон — важнейшее звено в пищевых цепях водных экосистем. В связи с этим исследования планктона в высоких широтах крайне важны для понимания общей картины влияния климата на биоразнообразие и функционирование морских экосистем. Судовые работы в 2019 г. проводились на стандартных станциях в губе Чупа и в открытом море у входа в губу (Кандалакшский залив, Белое море). Пробы сетного зоопланктона собирали по стандартным горизонтам до глубины 65 м в губе Чупа и до глубин 150–180 м в открытом море.

В 2019 году в прибрежной зоне была более тёплая весна, чем в среднем за период 1961–2019 гг., более холодное окончание лета и тёплая осень. При этом солёность изменялась достоверно только в слое 0–10 м: весной она была выше, а осенью — ниже нормы. Обилие (численность в м³) зоопланктона в 2019 г. в наиболее продуктивном поверхностном слое (0–10 м) весной было выше, а в конце лета и начале осени — ниже среднемноголетнего. Глубже достоверные отличия наблюдались только в июне, когда суммарное обилие превышало многолетнюю норму. В течение 2019 г. было прослежено изменение содержания биогенных элементов (азота в форме нитратов и нитритов, фосфора в виде фосфатов и силикатов). В среднем у дна концентрация этих элементов была выше, чем у поверхности. При этом у поверхности повышение их содержания наблюдалось весной и осенью, у дна содержание нитратов было максимальным в летний период, а концентрация фосфатов и силикатов была относительно стабильна в течение года. В открытом море динамика температуры и солёности меньше отличалась от многолетней нормы. В сезонном цикле развития зоопланктона наибольшие отклонения отмечены в динамике численности холодноводных видов в весенний период: их обилие было достоверно ниже нормы.

Многолетняя экспедиционная деятельность на Беломорской биостанции ЗИН РАН позволила выявить смещение на более раннее время сроков прогрева водной толщи и фенологических событий в жизненных циклах массовых организмов зоопланктона. Начало весеннего прогрева сместилось за период с 1961 по 2018 г. примерно на три недели. На такой же срок сместилось и время появления молоди массовых холодноводных и тепловодных видов. Кроме того, следует отметить значительную

глубину нулевой изотермы в конце ноября 2019 года (110 м). За весь период наблюдений в этом районе такая ситуация наблюдалась только в ноябре 2017 г., когда изотерма проходила на глубине 130 м. Такое распространение прогрева в глубину до сих пор не отмечалось в Белом море. Выявленные в 2019 г. изменения в зоопланктоне и во внешней среде, в прибрежной зоне Белого моря указывают на то, что прошедший год, несмотря на некоторые особенности динамики биологических и абиотических параметров, по показателям общего обилия зоопланктона находился в целом в пределах многолетней нормы.

Работа выполнена в рамках госзаданий Зоологического института РАН № АААА-А19-119022690122-5, № АААА-А17-117021300219-7 и № АААА-А17-117021300220-3.

НОВЫЕ ДАННЫЕ О РАДИАЦИОННОМ СОСТОЯНИИ ДОННЫХ ОСАДКОВ ОБЬ-ЕНИСЕЙСКОГО МЕЛКОВОДЬЯ И ЭСТУАРИЕВ ОБИ И ЕНИСЕЯ

А. Ю. Мирошников*, В. Б. Комаров

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН

*alexey-miroshnikov@yandex.ru

Во второй половине XX века в гидрографические сети Оби и Енисея поступали жидкие радиоактивные отходы (ЖРО) от радиохимических предприятий ПО «Маяк», Сибирского химического комбината и Красноярского горно-химического комбината. Суммарная оценка выноса активности ^{137}Cs и ^{90}Sr с речными водными массами в Карское море составила: ^{137}Cs — 4,05 kCi, ^{90}Sr — 40,5 kCi [2]. В результате работ, выполненных нами в период 1995–2001 гг. (первый этап), в донных осадках центральной части Карского моря были выявлены Енисейская (рис. 1) и Обская (рис. 2) зоны повышенной активности (ЗПА) радиоцезия, внешние границы которых были определены по изолинии 15 Бк·кг⁻¹ [1]. Их формирование было обусловлено функционированием комплексной геохимической барьерной зоны «река — море», в которой гидродинамический, солевой и температурный барьеры являются наиболее значимыми. Вероятно, что на долю Енисейского выноса приходилась несколько большая часть активности ^{137}Cs , т. к. уровни загрязнения осадков в Енисейской ЗПА были выше, чем в Обской.

В ходе морских экспедиционных исследований 2014–2019 гг. (второй этап), проведённых нами в рамках рейсов НИС «Академик Мстислав Келдыш», были отобраны новые колонки донных отложений на 17 станциях в пределах Енисейской и Обской зон повышенной активности радиоцезия (рис. 1, 2). При этом 14 станций располагались в тех же координатах, что и станции первого этапа исследований, на которых были выявлены наиболее высокие уровни активности ^{137}Cs . Таким образом, был получен материал из одних и тех же точек наблюдения с интервалом в 15–20 лет, что соответствует половине периода полураспада ^{137}Cs ($T = 30,17$ лет).

После проведения радиометрического анализа по всем 17-ти колонкам были получены следующие результаты:

Енисейская ЗПА, ранее выделенная нами по данным первого этапа исследований, пространственно приурочена к Енисейскому заливу, и её можно разделить на три части. Южная часть — приблизительно от посёлка Сопкарга почти до устья реки Сосновой — вытянулась с юго-востока на северо-запад, её ширина составляла приблизительно 40 км, протяжённость — 130 км. Центральная часть Енисейской ЗПА находилась к западу и северо-западу от острова Сибирякова. При ширине порядка 40 км протягивалась с юга на север на 100 км. Затем переходила в северную часть протяжённостью 120 км в северо-восточном направлении. В целом вся Енисейская ЗПА имела протяжённость 340 км при ширине 40–60 км.

По данным, полученным в ходе второго этапа исследований, были построены графики вертикального распределения радиоцезия по всем колонкам. Построение графика по средним значениям активности ^{137}Cs показало, что от нижних горизонтов 40–44 см до уровня 26 см активность изменяется в диапазоне 0–6 Бк·кг⁻¹, плавно возрастает до максимума в 32 Бк·кг⁻¹ на отметке 11–12 см и убывает к поверхности осадка до 10 Бк·кг⁻¹. При этом коэффициент детерминации (R^2) составляет 0,936. Максимальный уровень удельной активности радиоцезия по колонкам находится в диапазоне 68–130 Бк·кг⁻¹, что существенно ниже ранее зафиксированного в 1997 г. максимума в 263 Бк·кг⁻¹ на глубине 5 см. Отчётливое смещение зоны максимальной активности ^{137}Cs в осадках примерно на 6 см вниз показывает,

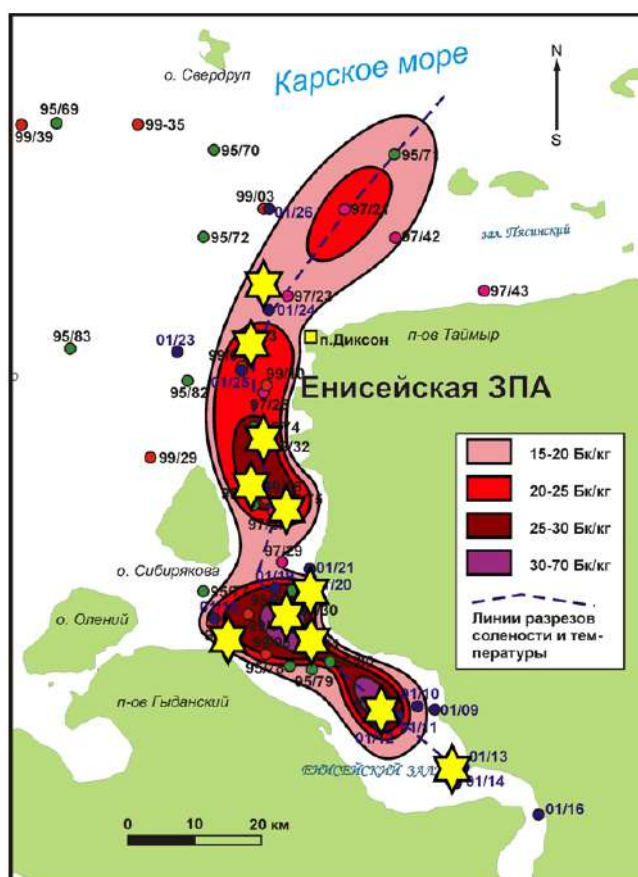


Рис. 1. Енисейская ЗПА радиоцезия и положение станций повторного отбора колонок донных осадков (жёлтые звезды)

что поступление радионуклидов в ЕЗПА существенно снизилось и слой их максимальной активности постепенно перекрывается новообразованным осадочным материалом. Снижение и выравнивание активности ^{137}Cs ниже 20 см объясняется, по-видимому, не только радиоактивным распадом, но и процессами биотурбации и диагенеза. Анализ изменения положения максимумов активности по колонкам показал, что в процессе осадконакопления и уплотнения отложений произошло «заглубление» в интервале от 6–7 см до 8–10 см. Это позволило установить скорости седиментации в изученной области от 3,16–3,68 мм·год⁻¹ до 4,70–5,88 мм·год⁻¹.

Обская ЗПА. Внутреннее строение Обской ЗПА определялось влиянием морфологии донной поверхности и структурой фронтов геохимической барьерной зоны (ГБЗ), что в результате привело к формированию трёх последовательных загрязнённых участков, имеющих свои отдельные максимумы не только в верхнем слое, но и в вертикальных разрезах. Протяжённость этой зоны по результатам первого этапа составляла 320 км при ширине 40–60 км. Внешняя граница зоны определялась изолинией в 15 Бк·кг⁻¹. При этом ее южная часть, составляющая приблизительно 1/3 длины, находилась в пределах фации эстуария (южнее северного берега полуострова Ямал) с глубинами до 15–30 м, а на север, в сторону открытого моря, она протягивалась приблизительно на 200 км, находясь в пределах Обь-Енисейского мелководья с глубинами до 50 м и располагаясь в осадках фации внутреннего шельфа. В южной части ОЗПА был выделен участок с активностью ^{137}Cs до 70 Бк·кг⁻¹ в верхнем слое осадков. При этом в глубине осадка в некоторых горизонтах отмечались активности до 100 Бк·кг⁻¹.

В 2019 году в ходе экспедиционных работ 76-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» нами были отобраны новые колонки донных отложений на шести станциях: по две станции в северной, центральной и южной частях Обской ЗПА. Все точки опробования имели те же координаты, что и станции первого этапа. При этом из северной и южной частей Обской ЗПА был получен материал из одних и тех же точек наблюдения с интервалом в 22 года. Из центральной части были отобраны две колонки, одна — спустя 24 года, а другая — спустя 18 лет. Таким образом, был получен материал из одних и тех же точек наблюдения с интервалом 18–24 года, что превышает половину периода полураспада ^{137}Cs ($T = 30,17$).

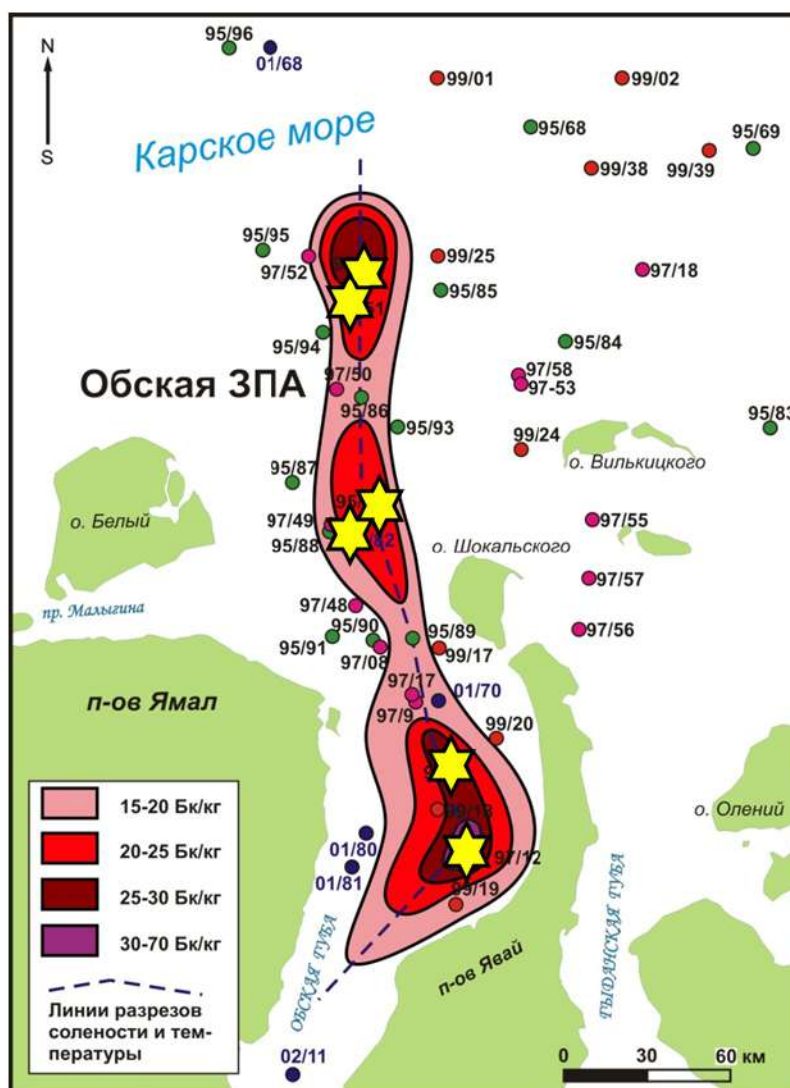


Рис. 2. Обская ЗПА радиоцеция и положение станций повторного отбора колонок донных осадков (жёлтые звезды) в 2019 г.

В северной части Обской ЗПА, расположенной в области фации внутреннего шельфа, повторные отборы колонок донных осадков были проведены на станциях АМК-6243 и АМК-6243А, которые были расположены в координатах станций ВР-9701 и ВР-9751 соответственно. Сравнивая полученные результаты, следует отметить прежде всего тот факт, что в точке наблюдений ВР-9701/АМК-6243 отмечается существенное снижение уровня активности радиоцеция. Если в «старой» колонке ВР-9701 линия полинома 6-й степени находится в диапазоне 15–48 Бк·кг⁻¹, то в «новой» колонке АМК-6243 этот диапазон составляет 0–9 Бк·кг⁻¹. При этом обе кривые имеют достаточно нетипичную для Обской ЗПА кон-

фигурацию, более характерную для Енисейской ЗПА, и высокие коэффициенты детерминации (R^2) — 0,62 и 0,87. Разница в расположении зоны максимальной активности в вертикальном профиле составляет не более 20 мм. Удельная активность радиоцезия в верхнем слое снизилась с 38 до 4 Бк·кг⁻¹ или, иными словами, сравнялась с фоновыми значениями. В точке наблюдений ВР-9751/АМК-6243А также наиболее значимым результатом сравнения является существенное снижение удельной активности радиоцезия до фоновых значений не только в верхнем слое, но и по всей длине вертикального профиля.

В центральной части Обской ЗПА, расположенной в донных отложениях дистальной части фации эстуариев, повторный отбор донных осадков также проводился в двух точках наблюдения. Одна из них, ВР-9592/АМК-6245, к сожалению, не имеет «старой» колонки, так как в этой точке в 1995 году отбирался только верхний слой осадков. Соответственно, здесь уместно говорить об изменениях радиационного состояния лишь верхнего слоя, удельная активность радиоцезия в котором снизилась за 24 года с 25 Бк·кг⁻¹ до фоновых значений около 5–7 Бк·кг⁻¹. При этом зона максимальной активности в вертикальном профиле «новой» колонки, отобранной в той же точке на станции АМК-6245, располагается на глубине осадка 9–12 см. Вторая точка наблюдений в этой части ОЗПА позволяет провести сравнение колонок, отобранных на станциях ВР-0182 и АМК-6245А. Если в 2001 году удельные активности радиоцезия в вертикальном разрезе осадков колебались в диапазоне от 15 до 28 Бк·кг⁻¹, не проявляя какой-либо закономерности, то в колонке, отобранной в 2019 году, отмечается снижение в верхнем слое до фоновых значений и по глубине осадка — до нулевых значений.

Южная часть Обской ЗПА, приуроченная к проксимальной части эстуарной фации донных осадков, характеризуется наиболее высокими отмеченными уровнями активности ¹³⁷Cs. В частности, в колонке ВР-9710 на глубине осадка 4 см фиксировался интервал с удельной активностью радиоцезия около 100 Бк·кг⁻¹, а в колонке ВР-9712 на глубине 19 см — около 110 Бк·кг⁻¹. Повторный отбор колонок донных отложений был выполнен на станции АМК-6247, в координатах станции ВР-9710, и на станции АМК-6252, в координатах станции ВР-9712. Снижение уровня активности радиоцезия чётко фиксируется в обеих точках наблюдения. Несмотря на то что интервалы максимальной активности в колонках 1997 года располагались неодинаково, в колонках, отобранных в 2019 году, отмечается большее сходство. Так, в поверхностном слое активность радиоцезия падает до фоновых значений около 5 Бк·кг⁻¹, а по мере погружения плавно и весьма незначительно возрастает до глубины 37–47 см, не превышая 10 Бк·кг⁻¹.

Проведён расчёт «запасов активности» ¹³⁷Cs в донных осадках Енисейской и Обской зон повышенной активности (ОЗПА и ЕЗПА), накопленных к концу 90-х годов [2]. Установлено, что в настоящее время в этих двух наиболее загрязнённых участках Карского моря суммарная активность радиоцезия снизилась приблизительно на 40 % и не превышает 2,3 кКи.

Вычисления проводились отдельно по ОЗПА и ЕЗПА. Ранее границы этих зон устанавливались по изолинии удельной активности радиоцезия в верхнем слое осадков в 15 Бк·кг⁻¹. Площадь донной поверхности Обской ЗПА составляла 8663 кв. км, а Енисейской — 10573 кв. км. Вычисления проводились для каждого слоя осадков мощностью в 10 мм (h) на глубину до 20 см. Плотность осадков усреднялась и была принята равной для пелитовых илов 900 кг·м⁻³. Удельная активность радиоцезия принималась в виде средней величины для каждого слоя по вертикальным колонкам, отобранным на станциях внутри выделенного контура. Суммарная активность складывалась из двух величин: общей активности в слое 0–20 см и общей активности в слое 20–40 см. Первая величина вычислялась следующим образом:

$$A_{sum\ 0-20} = A_1 + A_2 + \dots + A_{20},$$

где $A_{sum\ 0-20}$ — суммарная активность ¹³⁷Cs в слое донных отложений мощностью 0,2 м.

Вторая величина вычислялась по формуле:

$$A_{sum\ 20-40} = 0,8 \times (A_{20} + A_{21} + \dots + A_{40}).$$

При этом коэффициент 0,8 для горизонтов ниже 0,2 м вводился ввиду того, что 80 % колонок, по которым производились вычисления, охватывали слои в интервале до глубины 40 см.

Общая активность каждого слоя вычислялась по формуле:

$$A = S_{зна} \times h \times \rho \times A_{уд},$$

где $S_{зна}$ — площадь ЗПА, h — мощность слоя (10 мм), ρ — средняя плотность осадка, $A_{уд}$ — средняя величина удельной активности ^{137}Cs в слое.

Следовательно, A_{sum} для Обской ЗПА составила 58775933071006 Бк (58,77 ТБк), что соответствует 1,59 кКи. Для Енисейской ЗПА A_{sum} составила 77286467361226 Бк (77,29 ТБк), что соответствует 2,09 кКи. Таким образом, для обеих ЗПА «запасы» ^{137}Cs на конец 90-х годов составляли около 3,68 кКи. Полученное значение хорошо соотносится с данными, приведенными в «Белой книге–2000» [2], где показана активность радиоцезия, поступившего в Карское море с водами Оби и Енисея, в 4,07 кКи. Принимая во внимание эти данные, можно предположить, что около 90 % ^{137}Cs были депонированы в зонах смешения морских и речных вод. Период полураспада ^{137}Cs составляет 30,17 лет, следовательно, в настоящее время суммарная активность оставшегося в донных осадках Обской и Енисейской ЗПА радиоцезия, вычисляемая по формуле,

$$A = A_0 e^{-\left(\frac{0.693t}{T_{1/2}}\right)},$$

составляет 2,32 кКи.

Таким образом, в донных осадках ОЗПА и ЕЗПА остается около 60 % ^{137}Cs , поступившего туда во второй половине XX века. Полученная величина составляет 8,5 % от общей активности ^{137}Cs , поступившего в Карское море в период с 1945 по 2000 г. [2].

Заключение

Проведённые исследования позволили установить безусловные положительные тенденции в изменении радиационной обстановки в Енисейском заливе. Они состоят приблизительно в двукратном снижении уровня ранее фиксируемой максимальной активности радиоцезия в осадках. Наличие в верхнем слое современных донных отложений ЕЗПА активности радиоцезия, превышающей фоновые значения для акватории Карского моря, говорит о том, что поступление радионуклидов в ГБЗ Енисейского залива с речным стоком пока ещё продолжается, однако мощных выбросов радионуклидов за время наблюдений очевидно не происходило. Выявленное заглубление максимума удельной активности ^{137}Cs в колонках донных осадков позволяет уверенно использовать эти данные для определения абсолютных скоростей осадконакопления, по крайней мере, в пределах ГБЗ Енисейского залива. Полученные значения (от 3,2 до 5,9 мм·год⁻¹) соответствуют скоростям лавинной седиментации в эстуарных фронтальных зонах.

В шести колонках 2019 года, отобранных в Обской ЗПА, можно выделить два типа вертикального распределения остаточного радиоцезия: «обский сглаженный», формирующийся, по-видимому, при наиболее активном влиянии процессов биотурбации, и «енисейский», которому свойственно наличие

чётко выраженного интервала с более высокими уровнями активности [1]. Первому типу соответствуют обе колонки южного участка Обской ЗПА, второму типу соответствуют обе колонки центральной части. В северном участке присутствуют и тот, и другой. Фактором, объединяющим все три участка, является снижение активности радиоцезия до величин, характерных для фонового уровня и нигде не превышающих $10 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$. Также в пяти колонках отмечается корреляция активностей радиоцезия с процентными содержаниями пелитовой фракции в осадках. Отсутствие в верхнем слое современных донных отложений Обской ЗПА и в нижележащих горизонтах активности радиоцезия, превышающей фоновые значения для акватории Карского моря, говорит о том, что поступление радионуклидов в геохимическую барьерную зону Обской губы с речным стоком не происходит, а экосистема, освободившаяся от ранее зафиксированных загрязнений, способна к самовосстановлению.

Подобные результаты, иллюстрирующие реальное исчезновение ранее установленных участков радиоактивного загрязнения донных отложений в Арктике, получены впервые и пока не имеют отражения в многочисленных публикациях по теме исследования.

Благодарности

Исследования выполнены в условиях плодотворного сотрудничества и при поддержке руководителя программы «Морские экосистемы Сибирской Арктики», академика Михаила Владимировича Флинта. Авторы выражают глубокую признательность всему экипажу НИС «Академик Мстислав Келдыш» и лично капитану Юрию Николаевичу Горбачу.

Экспедиционные работы и подготовка материала к проведению аналитической программы выполнены при финансовой поддержке проекта РФФИ № 18-05-00480. Разработка подходов к интерпретации данных, их анализ и расчёты выполнены при финансовой поддержке проекта РФФИ № 18-05-60246.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мирошников А. Ю. Закономерности распределения радиоцезия в донных отложениях Карского моря // Геоэкология. 2012. № 6. С. 516–526.
2. Техногенные радионуклиды в морях, омывающих Россию. Радиозэкологические последствия удаления радиоактивных отходов в арктические и дальневосточные моря («Белая книга–2000») / Сивинцев Ю. В., Вакуловский С. М., Васильев А. П. [и др.]. М. : ИздАТ, 2005. 624 с.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 41-М РЕЙСЕ НИС «АКАДЕМИК НИКОЛАЙ СТРАХОВ» В БАРЕНЦЕВОМ И КАРСКОМ МОРЯХ (ИЮНЬ — АВГУСТ 2019 Г.)

С. Л. Никифоров

Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН

В июне — августе 2019 года на НИС «Академик Николай Страхов» были проведены экспедиционные исследования в Баренцевом, Печорском и Карском морях, а также в Байдарацкой губе. В экспедиции принимали участие сотрудники организаций:

- Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, организатор экспедиции;
- Геологический институт РАН;
- Геологический институт, обособленное подразделение Кольского научного центра РАН;
- Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова;
- Кольский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»;
- Научно-исследовательский центр медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук» (ФИЦ КНЦ РАН);
- Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет) (МФТИ).

Основание для проведения работ — разрешение Министерства науки и высшего образования на проведение морских научных исследований № ДН-69-09/7и от 25 февраля 2019 г.

Продолжительность рейса составила 46 суток, сроки проведения — с 25 июня по 9 августа, начальный пункт маршрута экспедиции — порт Архангельск, конечный — порт Калининград с промежуточным заходом в Архангельск 28 июля для выгрузки оборудования и высадки основного состава экспедиции.

Основные задачи экспедиции:

- 1) проведение комплексных геолого-геофизических, геоморфологических и гидрофизических исследований на шельфе Баренцева и Карского морей, а также проведение картирования рельефа и верхней осадочной толщи с целью определения быстрых изменений морского дна для минимизации негативных последствий при планируемой круглогодичной эксплуатации Северного Морского пути и районов нефтегазовых месторождений в морях западного сектора российской Арктики;
- 2) обоснование наиболее вероятного сценария развития природных обстановок западного арктического шельфа РФ на фоне продолжающегося потепления климата, повышения уровня моря и усиливающегося воздействия антропогенных факторов;
- 3) определение наличия, границ и размеров возможного простирания подводных многолетнемерзлых пород и эмиссии газов различного генезиса с привязкой сейсмоакустических данных к результатам бурения (кернам) как реперам для определения вещественного состава и генезиса различных слоёв верхней осадочной толщи;
- 4) оценка современных опасных природных процессов, включая экзарационное воздействие на морское дно. Опасность также представляют особенности структуры морского дна, связанные с процессами газовыделения, — покмарки, пингоподобные структуры.

Финансирование осуществлялось за счёт следующих госзаданий и грантов:

- 1) тема № 0149-2019-0006 «Геоморфология морского дна, геофизические и биогеохимические характеристики литосферы океанов и морей: геоморфологические особенности рельефа дна Арктического бассейна; геолого-геофизические и биогеохимические исследования осадочной толщи и литосферы Арктического шельфа, переходной зоны от Тихого океана к Евразии, отдельных районов Атлантики и Индийского океана, морей России» (руководитель — д. г. н. Никифоров С. Л.);
- 2) тема № 0149-2019-0005 «Тектоника деформируемых литосферных плит и геодинамическая эволюция океанской литосферы: геодинамическая эволюция Арктики и зоны перехода от Тихого океана к Евразии; развитие катастрофических и потенциально опасных процессов в зонах субдукции, окраинных, внутренних морях и береговой зоне, анализ их геоэкологических последствий; оценка и генезис полезных ископаемых континентальных окраин и внутриокеанических областей, окраинных и внутренних морей» (руководитель — чл.-корр. РАН Лобковский Л. И.);
- 3) тема № 0152-2018-0028 «Развитие методов геофизического мониторинга сейсмических и инфразвуковых полей в зонах деструкции кристаллического фундамента, осадочного чехла и криосферы на Западно-Арктической окраине Евразийской литосферной плиты», исполнитель — Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (научный руководитель — Виноградов А. Н.);
- 4) тема № 0135-2019-0069 «Опасные геологические процессы в Мировом океане: связь с геодинамическим состоянием коры и верхней мантии и новейшими движениями в океане», исполнитель — Геологический институт Российской академии наук (научный руководитель — д. г.-м. н. Мазарович А. О.);
- 5) тема № 0186-2019-009 «Научные основы инновационных технологий здоровьесбережения, биологической, экологической безопасности населения в западном секторе российской Арктики», исполнитель — Научно-исследовательский центр медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук» (научный руководитель — чл.-корр. РАН Жиров В. К.);
- 6) тема № 0135-2018-0044 «Программа Президиума РАН 49 «Взаимодействие физических, химических и биологических процессов в Мировом океане». Проект «Состояние морской среды в условиях антропогенных и аномальных естественных воздействий», подпроект «Гидроакустические аномалии водной толщи: связь со строением дна, режимом гидросферы и временными вариациями среды», исполнитель — Геологический институт Российской академии наук (научный руководитель — Соколов С. Ю.);
- 7) тема № «Проект 5-100», исполнитель — Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет) (научный руководитель — Бага В. А.);
- 8) тема № 0135-2018-0049 «Программа Президиума РАН 49 «Взаимодействие физических, химических и биологических процессов в Мировом океане». Проект «Процессы в океанской литосфере и их влияние на состояние морской среды», подпроект «Тепловой поток глубинных разломов океанского дна», исполнитель — Геологический институт Российской академии наук (научный руководитель — Хуторской М. Д.);
- 9) тема № 0226-2019-0053 «Минерагенические основы поиска высоколиквидных и нетрадиционных полезных ископаемых в целях воспроизводства и развития минерально-сырьевой базы в Евро-Арктической зоне России», исполнитель — Геологический институт, обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук» (научный руководитель — Зозуля Д. Р.);

- 10) грант РФФИ № 18-05-70040 «Эволюция литосферы Западной Арктики: процессы и механизмы, направленность развития, природные ресурсы и геологические опасности» (руководитель — Соловьев С. Ю.);
- 11) грант РФФИ № 18-35-20060 мол_а_вед «Рельеф и геоморфологические процессы районов ресурсного освоения южной части Баренцево-морского шельфа» (руководитель — Зарайская Ю. А.).

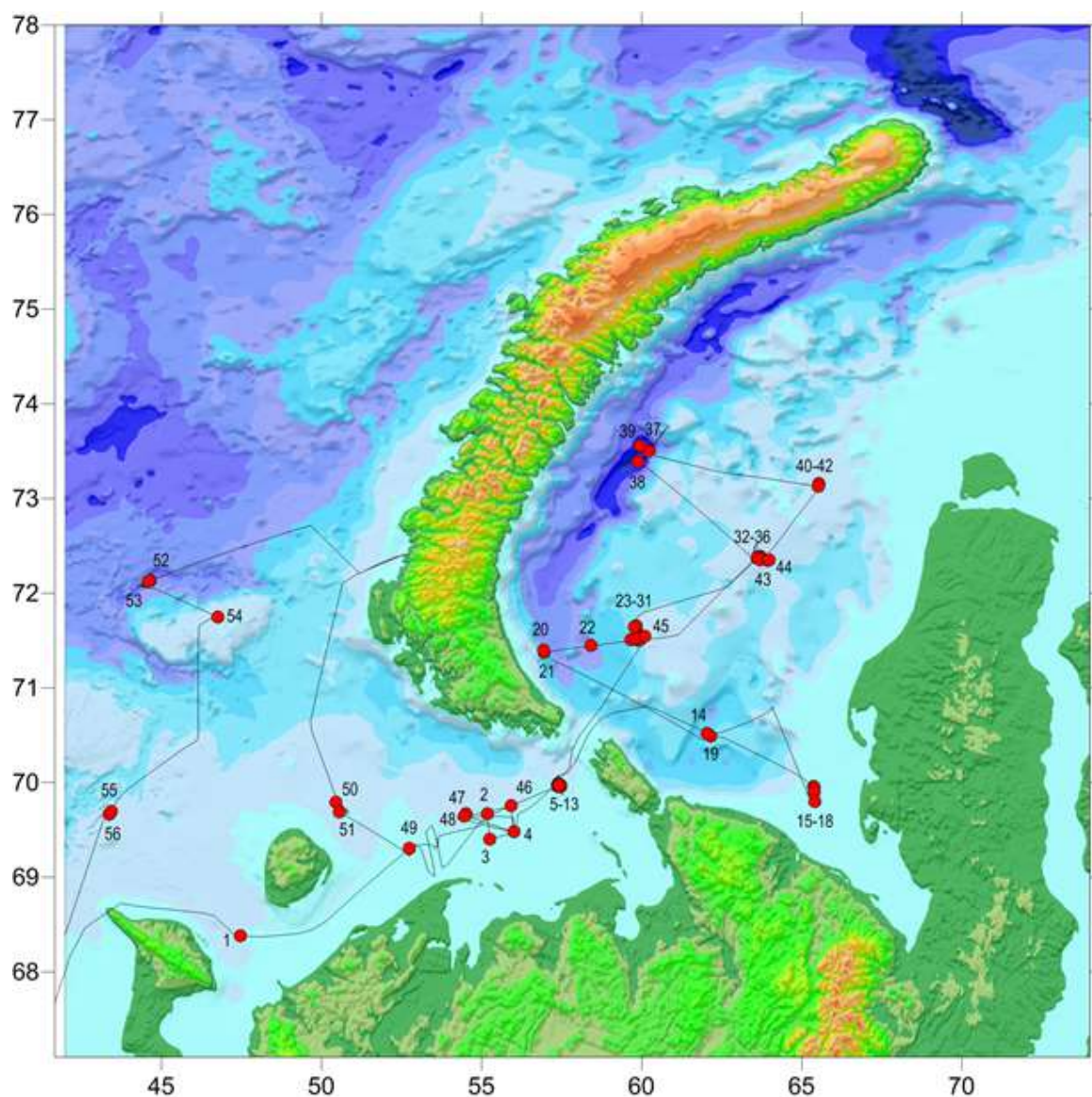


Рис. 1. Маршрут экспедиции и схема выполненных комплексных станций в 41-м рейсе НИС «Академик Николай Страхов»

Основные виды работ: картирование рельефа дна (с помощью многолучевого эхолота) и верхней осадочной толщи (эхолот-профилограф, НСАП, МОВ-ОГТ), отбор проб воды и донных осадков для проведения геологических, геохимических и гидрохимических исследований, установка донных сейсмографов для изучения микросейсмичности региона, гидрофизические исследования.

За период экспедиции было выполнено более 12000 морских миль профилей геофизических исследований (эхолотирование и сейсмоакустическое профилирование), а также 56 станций комплексных исследований, в том числе 13 станций пробоотбора ударной грунтовой трубкой и 50 станций отбо-

ра проб поверхностных донных осадков дночерпателем «Океан-0,1». Были успешно подняты донные сейсмические станции (4 шт.), установленные в Печорском море в 2018 году.

По результатам работ уточнён сценарий развития природных обстановок западного арктического шельфа РФ. В ходе рейса в юго-восточной части Печорского моря и юго-западной части Карского моря были выявлены моренные отложения, выраженные в рельефе морского дна отдельными грядами. Эти данные позволяют уточнить границы распространения позднеплейстоценового покровного оледенения и его связь с современными процессами, происходящими в данном регионе.

В ходе проведённых исследований уточнены границы распределения различных фаций донных осадков в Баренцевом и Карском морях. Главной особенностью современных донных отложений является широкое развитие песчаных фаций в южной и центральной частях Печороморского бассейна. В Карском море среди донных осадков преобладают тонкие фации — пелитовые илы, что объясняется незначительным привнесом терригенного грубообломочного материала в Карскоморский бассейн с континента. В западной части Карского моря, примыкающей к архипелагу Новая Земля, широко распространены донные осадки, образование которых связано с транспортирующей деятельностью айсбергов, оторвавшихся от береговых и/или шельфовых ледников.

Определены особенности простираения многолетнемерзлых пород и эмиссии газов различного генезиса с привязкой сейсмоакустических данных к имеющимся результатам бурения (кернам) как реперам для определения вещественного состава и генезиса различных слоёв верхней осадочной толщи. На участках, где ранее пробуренные скважины вскрыли мёрзлые породы, была проведена многоканальная сейсмическая съёмка, в результате этих работ построена скоростная модель геологического разреза. Предварительная оценка полученных результатов показала динамику понижения кровли мёрзлых пород в районе исследований.

Исследования подтвердили широкое распространение современных опасных геолого-геоморфологических процессов различного генезиса в Баренцево-Карском регионе. При проведении экспедиции были выявлены многочисленные следы ледовой экзарации, обусловленные действием морского льда или айсбергов. В районе траверза Чешской губы были обнаружены торрентогенные песчаные гряды, связанные с сильными течениями. В южной части Баренцева моря обнаружены выходы интрузий, выраженные в рельефе и верхней части осадочного чехла.

Проведённые сейсмоакустические и гидроакустические исследования показали широкое распространение в данном регионе газонасыщенных осадков, сопровождаемое высачиванием углеводородных газов, которое проявляется в виде газовых «факелов» и пузырьковых струй в водной толще. Признаками газонасыщенности верхней части осадочной толщи на сейсмических разрезах являлись: резкое возрастание амплитуды отражений, появление большого количества дифрагированных волн, экранирование нижележащих границ (зоны акустической тени), задержка времени регистрации отражений от нижележащих границ, вызывающая их ложное прогибание, куполообразные и конусообразные вертикально ориентированные области акустически прозрачной или хаотической записи. На нескольких участках были обнаружены кратеры покмарков, что указывает на существование в настоящее время или недавнем прошлом благоприятных условий для дегазации.

В Баренцевом и Карском морях, в верхней части осадочной толщи, были обнаружены проявления современных неотектонических движений. В результате работы донных сейсмографов, поднятых в Печорском море, получены записи как местных, так и удалённых землетрясений.

Планируется опубликование основных результатов исследований в открытых научных изданиях.

Выражаем благодарность капитану и экипажу НИС «Академик Николай Страхов» за большую помощь в проведении морских работ.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНОЙ МЕЖРЕГИОНАЛЬНОЙ ЭКСПЕДИЦИИ НА НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ»: НОВЫЕ ДАННЫЕ ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГЕОСИСТЕМ ЛИТОСФЕРА — ГИДРОСФЕРА — КРИОСФЕРА — АТМОСФЕРА В МОРЯХ ВОСТОЧНОЙ АРКТИКИ

И. П. Семилетов

Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН

В настоящее время и в ближайшие декады Сибирский арктический шельф есть и будет одной из наиболее важных природных систем на нашей планете. Он не только оказывает влияние на климат опосредованно, через изменяющийся цикл пресной воды (опосредованно, через термохалинный конвейер) и углеродный цикл (опосредованно, через региональный дисбаланс в цикле углерода и атмосферную эмиссию основных парниковых газов — двуокиси углерода и метана), но и сам является наиболее чувствительной частью климатической системы. Мониторинг арктической прибрежной зоны и Восточно-Сибирского шельфа критически важен для понимания и оценки характерных особенностей взаимодействия в арктической системе суша — шельф — атмосфера для понимания механизма *арктического усиления* (*understanding Arctic amplification*) в отношении отклика арктической морской экосистемы на современное потепление и прогрессирующую деградацию наземной и подводной мерзлоты, которые являются наиболее динамичными компонентами литосферы в Арктике.

Шельф морей Восточной Арктики (МВА) является наиболее широким и мелководным шельфом Мирового океана. МВА содержит более 80 % всей подводной мерзлоты и является гигантским резервуаром древнего органического вещества, включая гидраты и свободный газ (в основном метан). Предполагаемый метановый потенциал МВА в сотни раз превосходит общее количество метана в современной атмосфере. В предшествующих экспедициях участниками исследований было доказано, что в результате деградации подводной мерзлоты (ПМ) происходят массированные выбросы пузырькового метана, масштаб которых определяется состоянием ПМ. Для понимания механизма деградации ПМ и количественной оценки потоков метана в сентябре — октябре 2019 г. в МВА был выполнен комплекс биогеохимических, геологических, геофизических и метеорологических исследований, который позволил выявить новые мощные источники пузырькового метана в Восточно-Сибирском море, где ранее предполагалось существование сплошной мощной ПМ. Выбросы метана в отдельных районах привели к многократному увеличению содержания атмосферного метана относительно среднепланетарных значений. Результаты микрополигонных комплексных исследований, выполненных в зонах мегасипов, впервые открытых авторским коллективом в МВА в 2011 г., показали значительный рост таликов — путей разгрузки глубинного пузырькового метана и эмиссии метана из донных отложений в водную толщу — атмосферу. Особое внимание было уделено изучению морфологических особенностей дна комплексом геофизических методов.

Положение кровли ПМ изучалось с применением электромагнитного профилирования. Первые кратковременные измерения сейсмической активности вблизи района массивной разгрузки метана в Восточно-Сибирском море показали значимую сейсмотектоническую активность. Другим важным направлением работы экспедиции было изучение транспорта и трансформации наземного органического вещества, поступающего на Сибирский арктический шельф, в результате деградации берегового ледового комплекса и со стоком Великих Сибирских рек. Получены новые результаты, подтверждающие

определяющую роль экспорта и трансформации эрозионного углерода в биогеохимических процессах и осадконакоплении в мелководной части МВА. Особое внимание было уделено динамике распространения речных вод на арктическом шельфе, что позволило выявить неизвестный ранее механизм транспорта микропластика в арктической системе «суша — шельф».

Для решения поставленных задач в экспедиции «Академик Мстислав Келдыш — 78» был собран многопрофильный коллектив из представителей ведущих институтов РАН (Институт океанологии им. П. П. Ширшова, Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского, Национальный научный центр морской биологии им. А. В. Жирмунского, Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии») и университетов России (Томский политехнический университет, Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Проектно-изыскательский центр «МГУ-Геофизика», Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова, Санкт-Петербургский государственный университет). В состав коллектива вошли ведущие учёные, аспиранты и студенты всех уровней из всех регионов России: от Дальнего Востока (Владивосток) и Сибири (Томск) до центра (Москва, Санкт-Петербург) и севера (Архангельск). В подготовке и выполнении экспедиции приняли участие стратегические партнёры из Швеции (Стокгольмский университет) и Китая (Первый и Третий океанографические институты). Отметим, что из 64 участников экспедиции около 80 % (52 человека) составляла молодёжь в возрасте до 39 лет. Из них 24 (46 % или 37 % от всего списочного состава экспедиции) являлись аспирантами, магистрантами, магистрами и студентами академических и высших образовательных учреждений. Для них на борту судна был организован научно-образовательный центр «Плавучий университет».

Результаты исследований будут представлены в ряде докладов на крупнейших международных и национальных конференциях и опубликованы в высокорейтинговых журналах.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В МОРЯХ ЛАПТЕВЫХ И ВОСТОЧНО-СИБИРСКОМ В РАМКАХ 4-ГО ЭТАПА ЭКСПЕДИЦИИ «ТРАНСАРКТИКА — 2019»

Е. Е. Талденкова^{1,2}, А. В. Шманяк³, Х. Кассенс⁴, Ф. Эверс⁴

¹Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, географический факультет

²Арктический и антарктический научно-исследовательский институт

³Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского

⁴Центр научных океанических исследований им. Гельмгольца, Германия

Оценка современного состояния природной среды требует знания о естественном тренде ее изменения в контексте недавнего геологического прошлого, за пределами эпохи инструментальных наблюдений. Геологические исследования в ходе 2-й части 4-го этапа экспедиции «Трансарктика — 2019» (11.09–23.10.2019 г.) были в основном сосредоточены в Восточно-Сибирском море, прежде всего в силу того, что строение его осадочного чехла и история развития за последние несколько десятков тысяч лет исследованы крайне фрагментарно. Кроме того, в силу ряда объективных причин работы в море Лаптевых были сокращены и здесь отбирались только поверхностные образцы для общих геологических задач. Приоритетная необходимость проведения работ в Восточно-Сибирском море непосредственно связана с его удалённостью и практически круглогодичным ледовым покровом. До настоящего времени единичное количество экспедиций работало в этом районе в основном в международной зоне [1 ; 2 ; 3 ; 4 ; 5]. Данные о геологическом строении центральных районов моря практически отсутствуют. Соответственно, помимо палеоокеанологических реконструкций (см. ниже), важной задачей геологических работ в рамках экспедиции являлось получение информации, необходимой для геолого-съёмочных работ.

В течение последних десятков лет своей геологической истории шельфовые моря Сибири подвергались масштабным трансформациям: от затопления в межледниковые эпохи до осушения и формирования вечной мерзлоты в эпохи оледенений. В последнее время появляются также свидетельства существования в некоторых частях Восточно-Сибирского шельфа позднеплейстоценовых ледниковых покровов, при этом размеры, возраст и причины образования этих покровов остаются неясными и требуют дальнейших детальных исследований [3 ; 4 ; 5]. Не менее важным является реконструкция характеристик водных масс в регионе в разные геологические эпохи, которые зависят от флуктуаций уровня моря и определяются взаимодействием атлантических и тихоокеанских вод, а также речного стока и процессов ледообразования/таяния льдов.

В соответствии с вышеизложенными цели и задачи геологических исследований в экспедиции были сформулированы следующим образом:

- реконструкция ледниково-межледниковых изменений природной среды Восточно-Сибирского моря на основе детального анализа кернов морских осадков комплексом литологических, микропалеонтологических, геохимических и изотопных методов с применением абсолютного датирования;
- детальное изучение поверхностных осадков Восточно-Сибирского моря с целью уточнения особенностей геологического строения территории для последующего составления литологической карты ГГК-1000/3 поверхности морского дна на часть акватории Восточно-Сибирского моря, границ и площадей развития донных отложений с определением их вещественно-генетической принадлежности.

Задачи:

- отбор коротких (до 50 см, бокс-корером/коробчатым дночерпателем) и длинных (до 10 м, круглой и коробчатой ударной/гравитационной трубкой) колонок морских осадков на шельфе и континентальном склоне в интервале глубин от 20 до 300 м;
- пробоотбор донных отложений для комплекса аналитических исследований, который включает гранулометрический, геохимический, минералогический анализы, что позволит существенно увеличить достоверность карт комплекта ГГК-1000/3, а также получить данные для оценки состояния геологической среды.

Согласно задачам экспедиции состав работ включал пробоотбор донных осадков различными способами: дночерпателем с площадью захвата 0,2 м², большим коробчатым пробоотборником (бокс-корером, 50 × 50 × 60 см, модель Oktopus box corer 2500 производства Oktopus GmbH, Киль, Германия), круглой ударной прямооточной трубкой (диаметр 12 см, длина до 5 м, модель GC 125 производства Oktopus GmbH, Киль, Германия) и коробчатой ударной прямооточной трубкой (размер 15 × 15 см, длина до 5 м, Hydrowerkstaetten, Киль, Германия). Для колонок осадков из бокс-корера и коробчатой ударной трубки проводилось геологическое описание разрезов. Также описание проводилось для ряда разрезов из дночерпателя в том случае, если удавалось получить ненарушенные осадки.

Работа на «полной» (палеоокеанология и общая геология — литология, геохимия) геологической станции включала в себя ряд последовательных операций: подъём длинных ударных трубок, подъём бокс-корера, пробоотбор из дночерпателя (в случае неиспользования бокс-корера). На всех станциях, где брались керны с помощью ударных трубок, в дополнение к ним, для изучения поверхностных и подповерхностных осадков, также отбирали пробы либо бокс-корером, либо дночерпателем. Всего было сделано 12 полных станций в Восточно-Сибирском море (рис. 1). На остальных 15 станциях в Восточно-Сибирском море и 9 станциях в море Лаптевых проводился отбор образцов только из дночерпателя (рис. 2).

Аналитическая обработка полученных проб выполняется во Всероссийском научно-исследовательском геологическом институте им. А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ) и Российско-германской лаборатории по морским и полярным исследованиям им. О. Ю. Шмидта (ОШЛ) при Арктическом и антарктическом научно-исследовательском институте (ААНИИ).

На настоящий момент нами сделано литологическое описание 5 разрезов из бокс-корера и одного разреза осадков из коробчатой ударной трубки. Кроме того, составлены литологические описания 18 разрезов осадков, полученных дночерпателем. В январе 2020 года рабочая группа сотрудников ВСЕГЕИ, ААНИИ и Центра научных океанических исследований им. Гельмгольца (г. Киль, Германия), приступила к детальному изучению отобранных колонок, которое включает послойное литологическое описание керна, отбор донного материала на микропалеонтологические, изотопно-геохронологические, геохимические и минералогические виды исследований. Выполняемые работы позволят реконструировать историю изменения палеосреды и палеоклимата до времени последнего позднеплейстоценового оледенения или даже древнее, что даст возможность приблизиться к ответу на вопрос о существовании ледника на территории шельфа Восточно-Сибирского моря. Также полученные лабораторно-аналитические данные существенно дополняют и уточняют минерагеническое районирование, выявление источников сноса терригенного материала морей Лаптевых и Восточно-Сибирского.

До настоящего времени нет опубликованных данных о длинных морских колонках из центральной части Восточно-Сибирского моря. Мы полагаем крайне перспективным изучение длинных колонок, в частности 3- и 5-метровых колонок осадков со станции ТА19М169. Результаты наших исследований дадут представление о природном тренде изменения климата, что важно для прогноза и моделирования его будущих изменений.

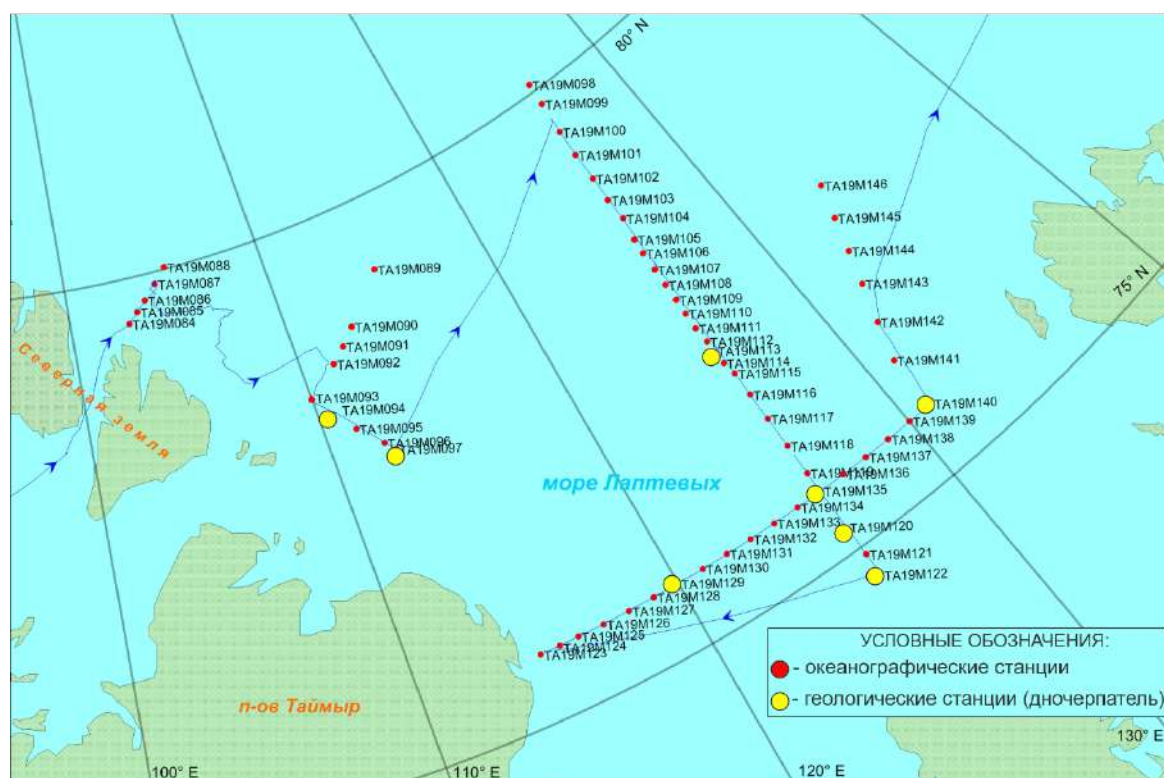


Рис. 1. Схема района работ в море Лаптевых

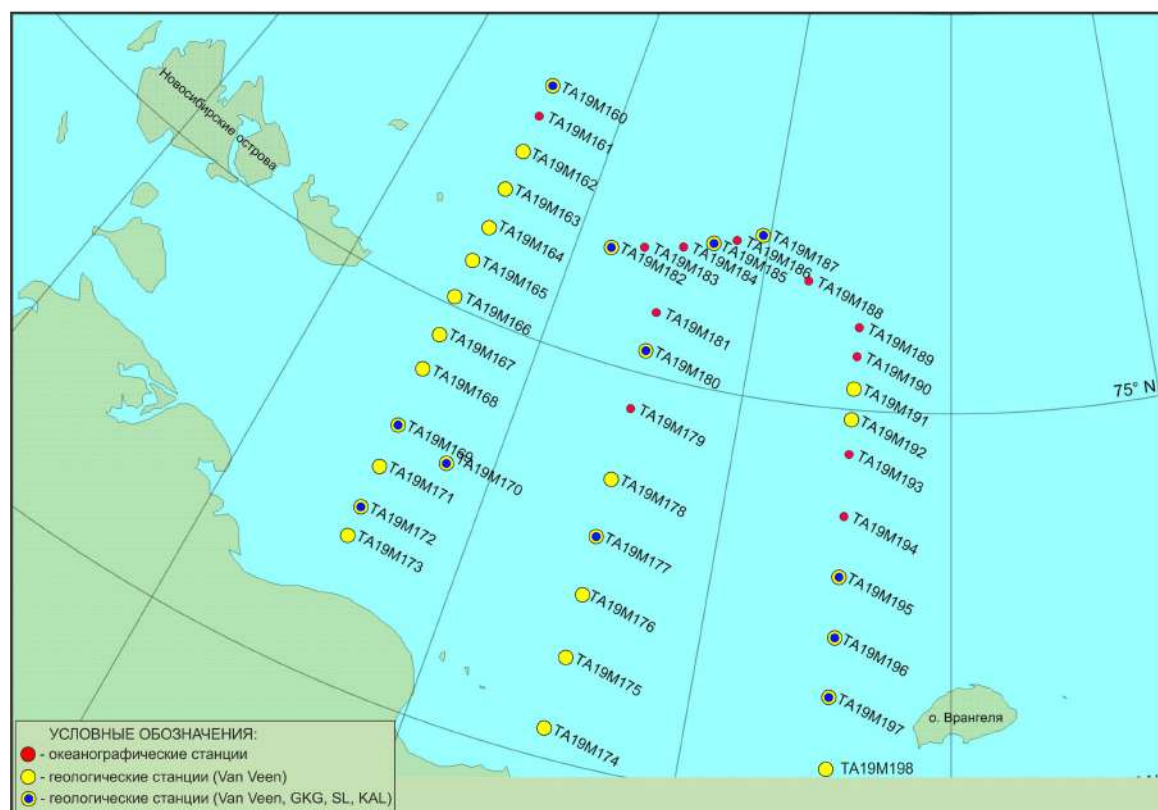


Рис. 2. Схема района работ в Восточно-Сибирском море

ЛИТЕРАТУРА

1. Новые данные о рельефе и четвертичных отложениях внешнего шельфа Восточно-Сибирского моря / Гусев Е. А., Зинченко А. Г., Бондаренко С. А. [и др.] // Геология и геоэкология континентальных окраин Евразии. М., 2012. Вып. 4. С. 58–68.
2. Deglacial sea-level history of the East Siberian and Chukchi Sea margins / Cronin T. M., O'Regan M., Pearce C. [et al.] // *Climate of the Past*. 2017. Vol. 13. P. 1097–1110. DOI: [10.5194/cp-13-1097-2017](https://doi.org/10.5194/cp-13-1097-2017)
3. Improved Pleistocene sediment stratigraphy and paleoenvironmental implications for the western Arctic Ocean off the East Siberian and Chukchi margins / Schreck M., Nam S.-I., Polyak L. [et al.] // *Arktos*. 2018. Vol. 4. Article 21. DOI: [10.1007/s41063-018-0057-8](https://doi.org/10.1007/s41063-018-0057-8).
4. Repeated Pleistocene glaciation of the East Siberian continental margin / Niessen F., Hong J. K., Hegewald A. [et al.] // *Nature Geoscience*. 2013. Vol. 6. P. 842–846. DOI: [10.1038/ngeo1904](https://doi.org/10.1038/ngeo1904)
5. Towards a better (litho-) stratigraphy and reconstruction of Quaternary paleoenvironment in the Amerasian Basin (Arctic Ocean) / Stein R., Matthiessen J., Niessen F. [et al.] // *Polarforschung*. 2010. Vol. 79. P. 97–121.

ВЫПОЛНЕНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ И БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ БЕЛОГО МОРЯ ПОД ВЛИЯНИЕМ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА РАЗЛИЧНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ МАСШТАБАХ В СЕНТЯБРЕ 2019 ГОДА

А. В. Толстиков^{*1}, Р. Э. Здорвеннов¹, Н. Е. Галахина¹, Н. В. Усов², А. В. Зимин³, Т. А. Белевич⁴,
А. А. Коник³, Е. И. Свергун³, Е. П. Никишова⁴

¹Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр РАН», Институт водных проблем Севера

²Беломорская биологическая станция Зоологического института РАН

³Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН

⁴Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

*alexeytolstikov@mail.ru

Экспедиционные работы в акватории Белого моря проводились в сентябре 2019 г. в два этапа: 1 — исследования в устье р. Кемь (4–5 сентября); 2 — исследования в Онежском заливе (6–11 сентября).

Цель экспедиции заключалась в выполнении комплексных исследований трансформации гидрологического и биогеохимического режимов Белого моря под влиянием приливных процессов на основе анализа контактных измерений.

Задачи экспедиции:

- выполнить работы в устье р. Кемь, провести синхронные измерения гидрологических характеристик (температура, солёность) и биогеохимических параметров (концентрация биогенных элементов — нитритного и аммонийного азота, фосфора минерального);
- выполнить работы по двум разрезам (Западная Соловецкая Салма, Онежский залив); провести синхронные измерения гидрологических характеристик (температура, солёность) и биогеохимических параметров (хлорофилл *a*, первичная продукция, концентрация биогенных элементов — нитритного и аммонийного азота, фосфора минерального); определить таксономический состав, численность, биомассу фитопланктона на пяти станциях, включая вертикальное распределение в пределах фотической зоны, а также состав и количество видов зоопланктона;
- изучить внутренние волны и вихревые структуры в различные фазы прилива в районах фронтальных зон.

Схема района работ представлена на рис. 1.

На первом этапе проводились гидрофизические и гидрохимические исследования в эстуарии р. Кемь. Работы по разрезу К-1–К-7 проводились дважды — в фазу прилива и фазу отлива. Станции К-9 и К-8 были выбраны в качестве фоновых точек в речной и морской частях реки за пределами градиентной зоны. Фазы прилива были рассчитаны с использованием программы WXTide32 (рис. 2).

Все гидрофизические измерения были выполнены с использованием зондов CTD90M Sea&Sun Technology (Германия), CTD RBRconcerto (Канада), CTD CastAway (США), при помощи которых почти на всех станциях получены профили вертикального распределения температуры, солёности, мутности, растворённого кислорода и хлорофилла *a*. Технические характеристики приборов приведены в табл. 1.

Для гидрохимических исследований в эстуарии р. Кемь были выбраны станции К-1, К-3, К-8 и К-9. В пробах воды со станций К-1 и К-9 проведён полный химический анализ: определяли pH, электропро-

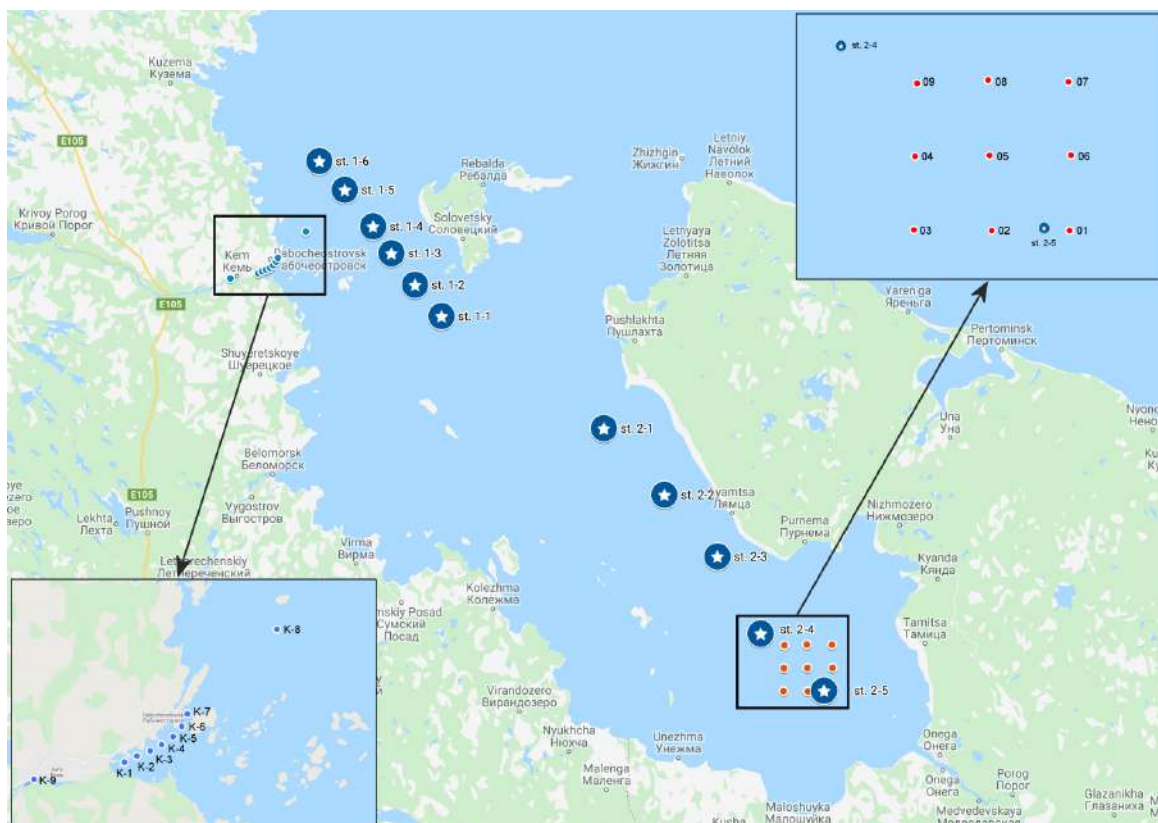


Рис. 1. Карта-схема района проведения работ в акватории Белого моря

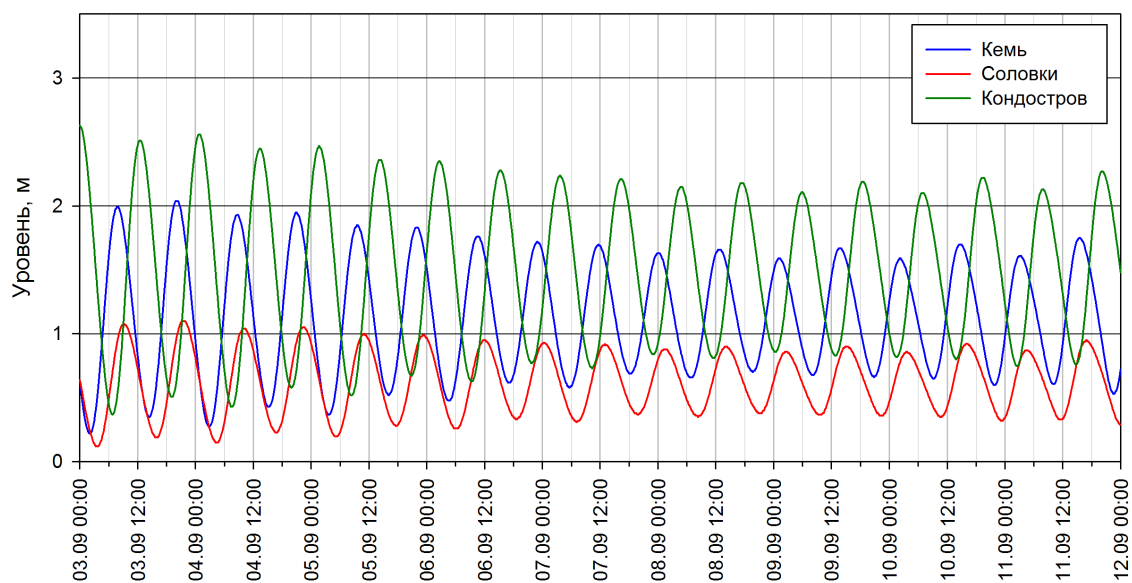


Рис. 2. Приливной ход уровня моря по трём пунктам, ближайшим к районам работ

Таблица 1. Технические характеристики приборов

Параметры	Диапазон	Точность
CTD-90M Sea&Sun Technology (Германия)		
Давление, бар	20	± 0,1 % fs
Температура, °C	-2...+35	± 0,005
Электропроводность, мСм·см ⁻¹	0–60	± 0,020
Мутность, FTU	0–1000	0,1
Флюориметр, мкг·л ⁻¹	0–10	0,8 %
RBRconcerto (Канада)		
Растворенный кислород, %	0–120	± 5
CTD CastAway (США)		
Температура, °C	-5...+45	± 0,05
Электропроводность, мСм·см ⁻¹	0–10	± (0,005 + 0,25 %)

водность, взвешенное вещество, минеральный состав (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-), биогенные элементы (формы азота, $P_{\text{мин}}$, $P_{\text{общ}}$, Si), органическое вещество ($C_{\text{орг}}$, ХПК, перманганатная окисляемость, цветность, гумусовые вещества), $\text{Fe}_{\text{общ}}$, Mn и загрязняющие вещества (нефтепродукты, Cu, Ni, Zn, Cr, Pb, Cd). В пробах воды, отобранных на станциях К-3 и К-8, определяли содержание только биогенных элементов (N-NH_4^+ , N-NO_2^- , N-NO_3^- , $N_{\text{общ}}$, $N_{\text{орг}}$, $P_{\text{мин}}$, $P_{\text{общ}}$ и Si). Все химические анализы были выполнены в лаборатории гидрохимии и гидрогеологии Института водных проблем Севера ФИЦ «Карельский научный центр РАН» по соответствующим методикам [1].

Кроме того, в ходе работ при помощи эхолота Garmin Echomap 50s были выполнены батиметрические промеры дна по разрезу от станции К-1 до станции К-1. Рельеф дна в эстуарии реки сложный, имеются локальные ямы с глубинами до 7 м. Это влияет на распространение приливной волны и на перенос взвешенных веществ, на что ранее обращалось внимание [2].

Полученные результаты сравнивались с данными, выполненными ранее другими исследователями, а также с работами, проведенными при участии авторов [3 ; 4]. Распределение температуры, солёности, показателей мутности и хлорофилла а было классическим, характерным для этого времени года (рис. 3).

В качестве фоновых использовались станции К-8 и К-9. На станции К-8 хорошо выражена стратификация. До горизонта 4 м наблюдалась гомотермия, с температурой около 10 °C и солёностью 25 ‰. Показатели концентрации хлорофилла а (0,3 мг·л⁻¹) и мутности (в среднем 0,6 FTU) с глубиной изменяются незначительно. Насыщение кислородом составило около 95 % для обеих фоновых станций.

Пробы воды, отобранные на станциях К-1 и К-9, не отличаются по химическому составу. Согласно классификации О. А. Алекина [5], вода р. Кемь относится к гидрокарбонатному классу группы кальция, магния, что является типичным для водных объектов Республики Карелия.

Вода имеет низкую минерализацию (17,8 мг·л⁻¹), ее ионный состав можно выразить формулой (1):

$$\sum_{\text{кат}} = 0,29 \text{ ммоль} \cdot \text{экв} \cdot \text{л}^{-1} \frac{\text{Ca}38\text{Mg}28\text{Na}24\text{K}10}{\text{HCO}_3 48\text{A}_{\text{орг}}24\text{SO}_4 17\text{Cl}11} \quad (1)$$

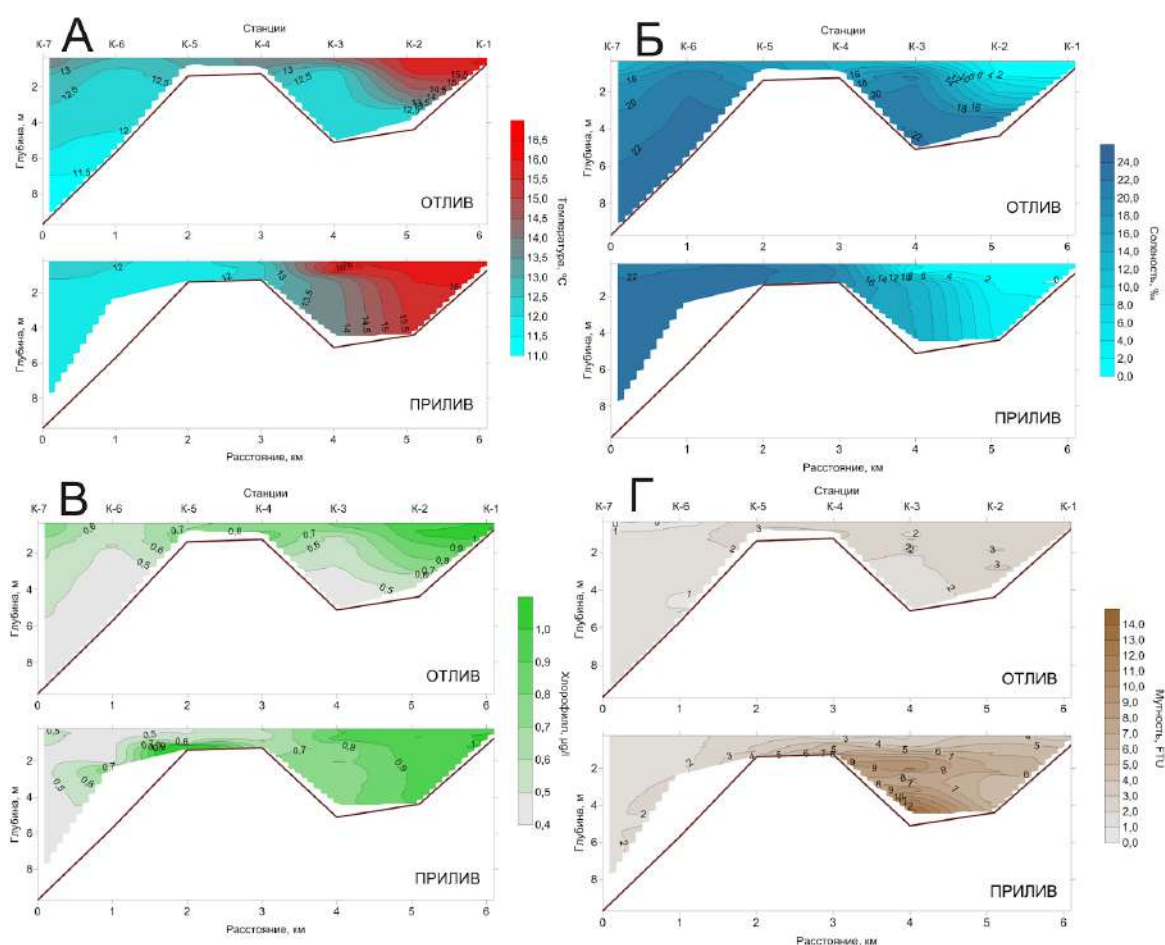


Рис. 3. А — распределение температуры ($^{\circ}\text{C}$), Б — распределение солёности (‰), В — распределение хлорофилла а ($\text{мг}\cdot\text{л}^{-1}$), Г — распределение мутности (FTU) в фазу прилива и отлива в эстуарии р. Кемь

В распределении форм азота в воде преобладает органическая, в то время как концентрации минеральных форм достаточно низкие. Это является характерным для поверхностных вод гумидной зоны [6].

Вода в р. Кемь имеет околонейтральную реакцию среды 6,7–6,9. Отмечается высокая цветность воды, в среднем 65 град. По содержанию органического вещества, согласно классификации [7], р. Кемь является мезогумусной.

На втором этапе экспедиции проводились комплексные работы (гидрофизические, гидрохимические, исследование фито- и зоопланктона) в проливе Западная Соловецкая Салма и в Онежском заливе. Гидрофизические работы выполнены на 31 станции, 12 из которых — в составе разреза № 1, 9 — в составе полигонной съёмки, 10 — в составе разреза № 2, 3 измерения — в режиме буйковой станции. На рис. 4 представлена запись колебаний температуры по данным измерения с буйковой станции в точке, совпадающей с положением станции № 6 разреза № 1 (7 сентября 2019 года с 14:10 по 16:50).

С 16:10 по 16:50 на записи регистрируются ярко выраженные колебания температуры, связываемые с внутренними волнами. Колебания имеют период от 5 до 15 минут.

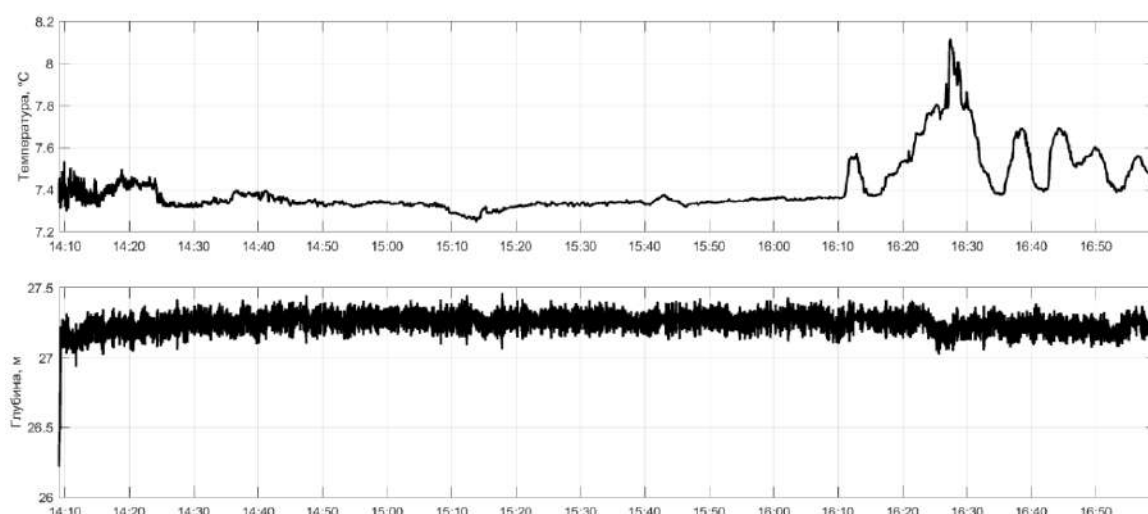


Рис. 4. Запись колебаний температуры по данным измерений на буйковой станции 7 сентября 2019 года с 14:10 по 16:50

Исследование зоопланктона

Пробы мезозоопланктона отбирали на 4-х станциях: 1-6, 1-1, 2-3 и 2-5 (см. рис. 1) — дважды в разные фазы приливного цикла. Таким образом, на один разрез приходилось по 2 станции, на каждой станции зоопланктон отбирали дважды. Использовали сеть Джели с диаметром входного отверстия 37 см и ячейей фильтрующего сита 100 мкм. Пробы отбирали по горизонтам, в зависимости от станции. На самой глубокой и мористой станции 1-6 отбирали по слоям 0–10, 10–20 и 20–50 м во время отлива и в полную воду; на станции 1-1 — 0–10, 10–20 и 17–28 м в малую воду и 0–10 и 10–20 м в самом начале прилива (в малую воду); на станции 2-3 — 0–25 м в полную воду и 0–30 м в малую воду; на станции 2-5 — 0–11 м и оба раза пробоотбор пришёлся на отлив. Пробы зоопланктона фиксировали формалином (2–4 %) и обрабатывали счетным методом. Для этого объем пробы доводили до 200 мл, брали из нее 3 аликвоты по 1 мл, в которых подсчитывали массовые формы (> 5–10 экз. на аликвоту), затем во всей пробе считали менее многочисленных животных.

В качестве модельной для изучения влияния приливной динамики на обилие зоопланктона выбрана станция 2-3, где пробы отбирались в полную и малую воду. Суммарная численность зоопланктона достигала наибольших значений на станции 2-5, наиболее близкой к устью р. Онеги, что объясняется массовым развитием в этом районе бореальных видов и *Pseudocalanus* spp. Высокая численность холодноводных организмов отмечена как на границе с Бассейном, так и в южной части разреза 2 (станция 2-5), причем здесь из холодноводных животных встречались только виды рода *Pseudocalanus* (97–100 % численности группировки). Тепловодные виды наиболее многочисленны на станции 2–5, меньше всего их на мористой станции 1-6. Такое распределение группировок согласуется с горизонтальным распределением температуры воды.

Исследование фитопланктона

Экспедиционные работы по изучению фитопланктона включали в себя отбор проб для оценки видового состава, численности и биомассы фитопланктона, а также содержания хлорофилла *a*. Пробы воды для определения концентрации хлорофилла *a* и количественных параметров фитопланктона отбирали 5-литровым батометром Нискина с 3–4 горизонтами (поверхностный, над пикноклином и под ним, придон-

ный). Пробы отбирались на 6 станциях, расположенных в проливе Западная Соловецкая Салма (разрез 1) и юго-восточной части Онежского залива (разрез 2), всего отобрано 138 проб. Отбор проб на разрезах был выполнен дважды — в фазу прилива и фазу отлива. Значения концентрации хлорофилла *a* варьировали от 0,35 до 0,83 мг·м⁻³. Средние значения содержания хлорофилла *a* в фазу прилива и фазу отлива составили $0,52 \pm 0,18$ мг·м⁻³ и $0,55 \pm 0,15$ мг·м⁻³ соответственно и статистически достоверно не различались.

Гидрохимические исследования

Исследование содержания биогенных элементов проведено в Западной Соловецкой Салме (станции 1-1, 1-4, 1-6) и Онежском заливе (станции 2-1, 2-3, 2-5) в фазу прилива и фазу отлива.

Среди форм азота в воде Западной Соловецкой Салмы преобладала органическая, концентрация $N_{орг}$ варьировала от 0,62 до 0,83 мгN·л⁻¹. Наблюдалось 2–3-кратное увеличение концентрации нитратов от поверхности до дна на глубоководной станции 1-6. Содержание $P_{общ}$ на станции 1-1 в поверхностном слое в фазу отлива выделялось и составило 28 мкг·л⁻¹, тогда как на остальных станциях его значение не превышало 18 мкг·л⁻¹. Основные изменения концентраций биогенных элементов в фотическом слое связаны с сезонными изменениями интенсивности продукционно-деструкционных процессов.

Выводы

1. Река Кемь является типичным представителем поверхностных вод Карелии. По химическому составу воды ее можно охарактеризовать как низкоминерализованную мезогумусную мезотрофную с повышенным содержанием железа и марганца. Несмотря на антропогенную нагрузку от г. Кемь, существенных различий в химическом составе воды в пробах, отобранных до города и после, не наблюдается.
2. Максимальные концентрации $P_{общ}$ (21–29 мкг·л⁻¹) в Онежском заливе наблюдались на станции 2–5, что обусловлено влиянием р. Онеги. Что касается форм азота, то также преобладала органическая форма, ее концентрация изменялась от 0,62 до 0,81 мгN·л⁻¹.
3. В ходе экспедиционных исследований выполнены разрезы в Западной Салме и Онежском заливе в разные фазы прилива, полигонная съёмка в Онежском заливе, буйковые станции в Западной Соловецкой Салме.
4. По данным измерений на разрезах установлена ярко выраженная неоднородность полей океанологических характеристик, вероятно, связанная с фронтальными зонами. Для разреза в Онежском заливе установлена приливная изменчивость полей океанологических характеристик.
5. По данным измерений на полигоне установлена выраженная изменчивость океанологических характеристик, вероятно, связанная с Онежской фронтальной зоной. Также в поле плотности обнаружены кольцевые изолинии, что может свидетельствовать о регистрации вихревых структур.
6. По данным измерений на буйковых станциях зафиксированы ярко выраженные колебания температуры, связываемые с внутренними волнами.
7. **Горизонтальное распределение зоопланктона.** Горизонтальное распределение зоопланктона, в первую очередь тепловодного, соответствует градиенту температуры воды: в куту Онежского залива обилие бореальных видов на порядки выше, чем у границы с Бассейном. Распределение холодноводных не столь единообразно: только мезопелагический вид *Triconia borealis* следует градиенту температуры, тогда как распределение *Pseudocalanus* spp. различается на разных стадиях, что связано отчасти с возрастным изменением температурных предпочтений.

8. **Динамика в течение приливного цикла.** Динамика обилия веслоногих ракообразных, которые составляли основу сообщества зоопланктона, в течение приливного цикла различалась на разных стадиях жизненного цикла. В связи с этим не всегда удавалось проследить закономерности. Согласованные изменения практически на всех стадиях развития выявлены у *Pseudocalanus* spp. и *Temora longicornis*: в малую воду их обилие увеличивается. Однако в целом численность зоопланктона примерно на 20 % выше в полную воду. Вероятно, причина этого — в динамике эврибионтов, прежде всего *Microsetella norvegica*, динамика которой определяется, скорее, горизонтальным переносом течениями и которая — среди доминант в сообществе.
9. **Суточные миграции.** На станции 2-5 обнаружено значительное повышение обилия всех массовых видов в тёмное время суток, что соответствует закономерности, выявленной в большинстве исследований вертикальных суточных миграций зоопланктона в мире. Фитопланктон Онежского залива в сентябре был представлен диатомовыми, динофитовыми, криптофитовыми и диктиоховыми водорослями. Наибольшим видовым богатством характеризовались динофитовые и диатомовые водоросли. В сообществе фитопланктона на обоих разрезах доминировали диатомеи. В проливе Западная Соловецкая Салма преобладали водоросли *Cylindrotheca closterium* и *Thalassionema nitzschioides*. В юго-восточной части Онежского залива доминировали *Chaetoceros curvisetus* и водоросли рода *Thalassiosira*. Полная и качественная обработка проб фитопланктона будет завершена во втором квартале 2020 г., в результате которой планируется выявить особенности пространственного распределения фитопланктона и неоднородность его таксономической и размерной структуры в зависимости от абиотических факторов.
10. Программа экспедиционных исследований выполнена в полном объёме, цели экспедиции достигнуты.

Работы выполнены согласно планам НИР:

- № АААА-А18-118032290034-5 «Закономерности изменений экосистем Белого моря при интенсификации освоения Арктической зоны региона и под влиянием изменений климата» (ИВПС КарНЦ РАН).
- № 0149-2019-0015 «Волновые процессы, явления переноса и биогеохимические циклы в морях и океанах: исследование формирующих механизмов на основе физико-математического моделирования и натурных экспериментальных работ» (ИО РАН).
- № АААА-А19-119022690122-5 «Динамика структуры и функционирование экосистем Белого моря и сопредельных арктических морей» (ЗИН РАН).
- № АААА-А16-116021660052-0 «Разработка основ прогнозирования динамики экосистем» (МГУ имени М. В. Ломоносова).

ЛИТЕРАТУРА

1. Аналитические, кинетические и расчетные методы в гидрохимической практике / под ред. П. А. Лозовика, Н. А. Ефременко. СПб. : Нестор-История, 2017. 272 с.
2. Пространственное распределение фитопланктона в субарктической эстуарии (река Кемь, Белое море) / Радченко И. Г., Ильяш Л. В., Шевченко В. П. [и др.]. // Океанология. 2019. Т. 59, № 3. С. 335–346. DOI: [10.31857/S0030-1574593335-346](https://doi.org/10.31857/S0030-1574593335-346).

3. О характере природных процессов в фазы прилива и отлива в эстуариях Карельского побережья Белого моря / Долотов Ю. С., Филатов Н. Н., Шевченко В. П. [и др.] // *Океанология*. 2004. Т. 44, № 5. С. 784–792.
4. О комплексных исследованиях эстуариев Карельского побережья Белого моря / Долотов Ю. С., Филатов Н. Н., Здоровеннов Р. Э. [и др.] // *Водные ресурсы Европейского Севера России: итоги и перспективы исследований : материалы юбил. конф., посвящ. 15-летию ИВПС. Петрозаводск, 2006*. С. 463–473.
5. Алекин О. А. Основы гидрохимии. Л. : Гидрометеорологическое изд-во, 1953. 296 с.
6. Лозовик П. А. Органическое вещество и биогенные элементы в объектах гидросферы. Источники поступления, внутриводоемные процессы образования и трансформации // *Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоемах и морских водах : тр. VI Всерос. симп. с междунар. участием. Барнаул, 2017*. С. 141–147.
7. Лозовик П. А. Геохимическая классификация поверхностных вод гумидной зоны на основе их кислотно-основного равновесия // *Водные ресурсы*. 2013. Т. 40, № 6. С. 583–592.

ЭКОСИСТЕМЫ МОРЕЙ СИБИРСКОЙ АРКТИКИ — 2019: ВЕСЕННИЕ ПРОЦЕССЫ В КАРСКОМ МОРЕ (76-Й РЕЙС НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ»)

М. В. Флинт

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

76-й рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш» — 10-я крупная экспедиция, продолжающая многолетнюю программу «Морские экосистемы Сибирской Арктики», которая направлена на исследование природных комплексов Карского, Лаптевых и Восточно-Сибирского морей. Экспедиция началась в порту Архангельск 01 июля 2019 г. и завершилась там же 06 августа 2019 г., протяжённость маршрута составила 4033 миль. В 2019 г. работы были сосредоточены в Карском море, Обском эстуарии и заливах восточного берега Новой Земли (Абросимова, Степового и Медвежьего). Экспедиция была организована Институтом океанологии РАН, в ней приняли участие сотрудники институтов Российской академии наук (Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии; Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова; Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского; Институт географии), Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова (МГУ), Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, а также студенты МГУ, Московского физико-технического института и Московского института электромеханики и автоматики. Всего 71 человек.

Основные задачи экспедиции:

- оценка состояния морской среды, структуры, продуктивности и функциональных параметров экосистемы Карского бассейна в весенний сезон во время схода сезонного льда;
- оценка физических, химических и биологических процессов в эстуарии крупнейшей сибирской реки — Оби в период интенсивного сезонного стока;
- изучение процессов развития биологических инвазий в разных районах Карского бассейна и оценка их влияния на нативные донные экосистемы;
- оценка физических, химических и биологических процессов в локальных экосистемах крупнейших заливов восточного берега Новой Земли, где сосредоточены захоронения радиоактивных отходов;
- выявление локализации и оценка состояния особо опасных объектов захоронений радиоактивных отходов в Новоземельской впадине и заливах восточного берега Новой Земли.

В пределах Карского шельфа на всех станциях у ледовой кромки и в районах, освободившихся ото льда в условиях крайне низкого содержания биогенных элементов (NO_3^- — от 0,0 до 0,16 мг·ат·л⁻¹), в вертикальном распределении хлорофилла был чётко выражен глубинный максимум, приуроченный к горизонтам от 20 до 52 (!) м, близким к нижней границе эвфотической зоны (1 % ФАР). При содержании хлорофилла в поверхностном слое $< 0,3 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ его концентрация в глубинных максимумах достигала $20 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$, биомасса фитопланктона — невиданных ранее для Арктики величин $16\text{--}72 \text{ (!)} \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$, что на 1,5–2 порядка превосходило биомассу в верхнем перемешанном слое. Средние величины интегральной первичной продукции на шельфе и в глубоководных районах желоба Св. Анны составляли $200 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2}$. Вклад глубинного максимума хлорофилла в общую первичную продукцию достигал 54–91 %.

В период весеннего половодья эстуарная фронтальная зона в Обской губе была резко выражена и в солёности, и в температуре. Её южная периферия находилась, как и в другие сезоны, на $72^\circ 40,0' \text{ с. ш.}$

Гидрохимические условия в области эстуарной фронтальной зоны характеризовались аномально высоким содержанием растворённого кремния ($> 200 \mu\text{M}$) и всех минеральных форм азота ($\text{NO}_3 > 12 \mu\text{M}$). Севернее фронтальной зоны, на расстоянии всего 120 км, концентрации биогенных элементов резко снижались: SiO_2 — до $60 \mu\text{M}$, NO_3 — до $\leq 0,2 \mu\text{M}$, что говорит об отсутствии обогащающего влияния весеннего стока на биогенный режим верхнего слоя на Карском шельфе. Выполнен широкий спектр работ по оценке состояния популяции хищного краба-вселенца *Chionoecetes opilio* в Карском море. Крабы были встречены практически во всех исследованных районах, их размеры за последние 5 лет значительно увеличились, в большинстве проб присутствовали самки с икрой. Всё это позволяет констатировать существование в бассейне полноценной, репродуктивной популяции краба-вселенца.

В задачи экспедиции входило определение точной локализации и оценка состояния особо опасных объектов в составе захоронений радиоактивных отходов в восточной части Карского моря. Была выполнена задача поиска реакторного отсека (РО) атомной подводной лодки (АПЛ) К-19, затопленного в заливе Абросимова. Установлено, что объект находится в море на расстоянии около 3 км к востоку от входа в залив. Съёмка радиационного поля позволяет утверждать, что внутри РО находится мощный источник радиоактивности. Обследование АПЛ, захороненной в заливе Степового, показало, что радиационная обстановка на этом объекте не изменилась с момента последнего исследования в 2016 году.

КОМПЛЕКСНЫЕ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ГС «АНАТОЛИЙ ЖИЛИНСКИЙ» В ГУБЕ БУОР-ХАЯ (МОРЕ ЛАПТЕВЫХ) ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ РАЗГРУЗКИ СУБМАРИННЫХ ГРУНТОВЫХ ВОД НА МОРСКИЕ ЭКОСИСТЕМЫ

А. Н. Чаркин^{1*}, К. Н. Кособокова², П. Ю. Семкин¹, О. В. Дударев¹, Е. А. Ершова², Г. Ю. Павлова¹, В. М. Сергеева², И. И. Пипко¹, С. П. Пугач¹, Ю. А. Барабанщиков¹, Д. А. Юрикова³, А. Э. Леусов⁴

¹Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН

²Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН

³Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

⁴Дальневосточный федеральный университет

* charkin@poi.dvo.ru

Экспедиционные работы выполнялись на гидрографическом судне (ГС) «Анатолий Жилинский» в губе Буор-Хая (море Лаптевых). Главной целью экспедиции была оценка влияния разгрузки субмаринных подмерзлотных грунтовых вод на гидрологический, гидрохимический и гидробиологический режимы исследуемого района. Работы велись на двух разрезах, местом пересечения которых являлась ранее открытая зона разгрузки субмаринных грунтовых вод (рис. 1) [4]. В соответствии с задачами экспедиции на каждой станции выполнялись комплексные исследования с отбором проб воды и биоматериала. В отобранных пробах воды часть параметров определялась на судне согласно принятой методике, остальные образцы консервировались для исследований в лабораториях Тихоокеанского океанологического института им. В. И. Ильичева ДВО РАН (ТОИ ДВО РАН) и Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН (ИО РАН).

Задачи экспедиции:

- выявление мест разгрузки субмаринных грунтовых вод с помощью данных по активности природных радионуклидов «квартета» радия (^{224}Ra , ^{223}Ra , ^{228}Ra , ^{226}Ra), значений стабильных изотопов ^{18}O , ^2H , гидрологических (температура, солёность) и гидрохимических параметров (макрокомпоненты — Cl , SO_4 , Na , Mg , Ca , K ; карбонатные параметры — щёлочность, pH, растворённый кислород);
- измерение в различных водных массах и в субмаринных грунтовых водах концентраций биогенных элементов: аммония, нитритов, нитратов, фосфатов, силикатов — и определение роли грунтовых вод в их поставке;
- определение температуры грунтовых вод и их гидрохимического состава и тем самым определение их влияния на температурный и гидрохимический режимы;
- выполнение пробоотбора и проведение качественного и количественного анализа донных и пелагических сообществ (бентос, фито- и зоопланктон) в пределах исследуемых акваторий, сравнение их с сообществами прилегающих областей моря и других районов арктического шельфа.

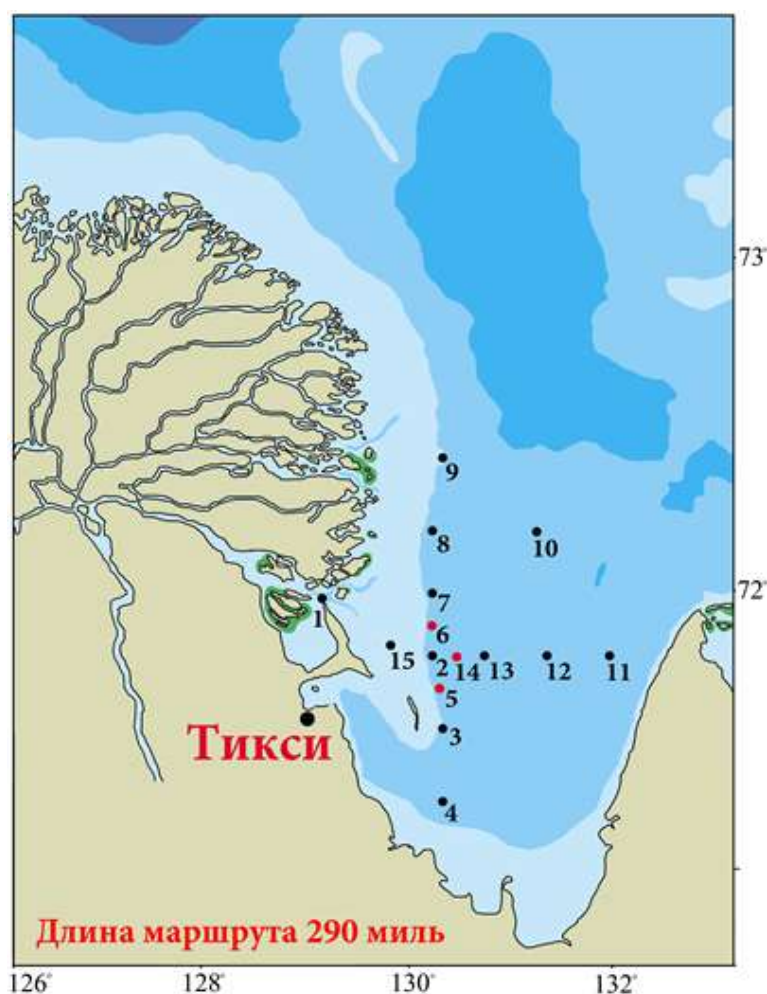


Рис. 1. Район исследований экспедиции на ГС «Анатолий Жилинский»

Результаты исследований

В поверхностном слое всей акватории губы Буор-Хая были зарегистрированы распреснённые воды, обусловленные летним паводком реки Лены. Максимальная солёность была обнаружена на станции 10 (6,2 ‰) в северо-восточной части губы, минимальная — на выходе из Быковской протоки в дельте реки (около 0 ‰). У дна солёность менялась в относительно узком диапазоне от 24 до 28 ‰, и только в Быковской протоке и на устьевом взморье (станция 15) она не превышала 0,3 ‰. Практически по всей акватории губы, за исключением станций 1 и 15, наблюдалась устойчивая стратификация.

Высокие концентрации растворённого кислорода ($320\text{--}330\text{ мкмоль}\cdot\text{кг}^{-1}$, 92–96 % насыщения) и растворённого органического углерода ($6\text{--}8\text{ мг С}\cdot\text{л}^{-1}$), очень низкие концентрации фосфатов ($0,02\text{--}0,13\text{ мкмоль}\cdot\text{л}^{-1}$) и нитратов ($0,2\text{--}0,5\text{ мкмоль}\cdot\text{л}^{-1}$) в поверхностных водах свидетельствовали об интенсивно идущем на всем полигоне фотосинтезе. В придонных водах концентрации органического углерода и кислорода уменьшались в 1,5–2 раза по сравнению с поверхностными водами. На станциях 2, 3 и 4, в том числе в месте разгрузки подмерзлотных грунтовых вод (ст. 2), насыщение кислородом понижалось до $183\text{ мкмоль}\cdot\text{кг}^{-1}$, 43 % насыщения (рис. 2). Данное насыщение можно рассматривать как состояние, близкое к гипоксийным условиям, когда процессы в воде сменяются с аэробных на анаэробные.

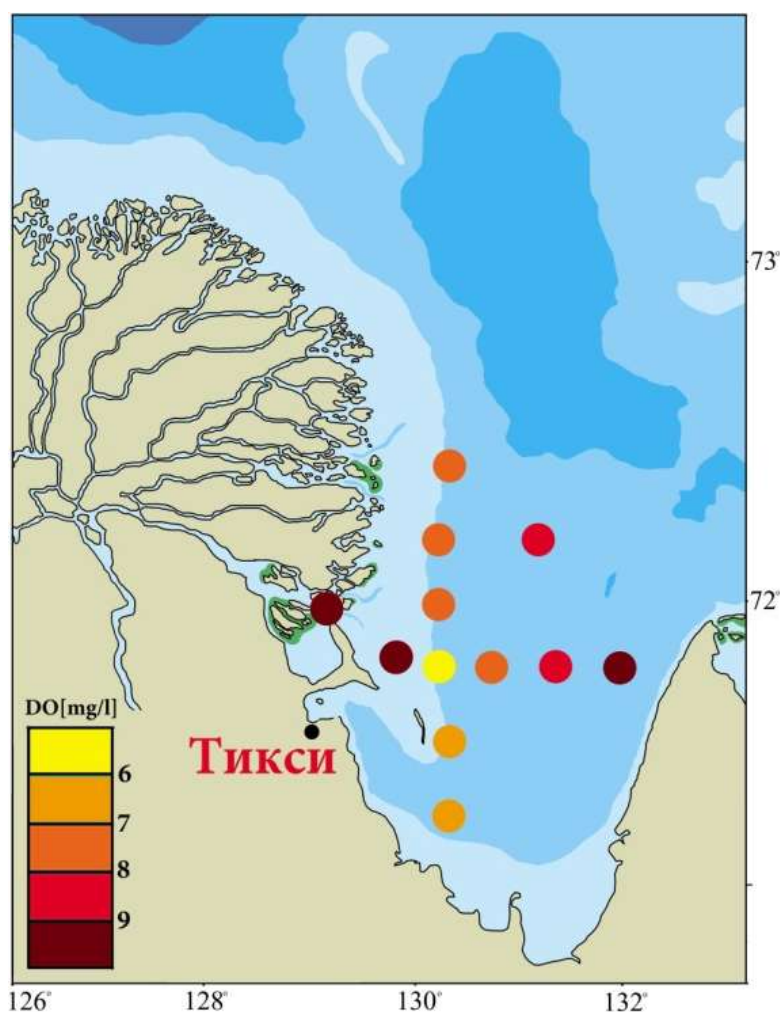


Рис. 2. Распределение кислорода в придонном горизонте ($\text{мг} \cdot \text{л}^{-1}$)

В местах локального уменьшения кислорода, в придонных водах на станции 2 (место разгрузки подмерзлотных грунтовых вод), было обнаружено увеличение концентрации нитритов (до $0,38 \text{ мкмоль} \cdot \text{л}^{-1}$) и высокая концентрация аммония (до $0,38 \text{ мкмоль} \cdot \text{л}^{-1}$). На станции 3, характеризующейся низким содержанием кислорода, концентрации нитритов ($0,12 \text{ мкмоль} \cdot \text{л}^{-1}$), и аммония ($0,1 \text{ мкмоль} \cdot \text{л}^{-1}$) были понижены, но выше фоновых значений. Можно предположить, что на этих станциях идёт процесс денитрификации, который происходит в пограничной области между аэробным и анаэробным состояниями среды [3].

В то же время нитрит является промежуточным продуктом метаболизма бактерий и не может накапливаться в заметных количествах. При одновременном существовании нитрита и аммония в верхних слоях осадка может проходить анаэробное окисление аммония нитрит-ионом, т. е. процесс денитрификации [6], который и был зарегистрирован на станции 3. В то же время на станции 2, в придонном слое (место разгрузки подмерзлотных грунтовых вод), наблюдаются максимумы аммония, и нитрита. Это явно указывает на наличие не местного, а глубинного источника этих веществ — грунтовых вод, поставляющих аммоний и нитриты из толщи донных осадков, в которых они образуются в анаэробных условиях при большом скоплении органики.

Нами было обнаружено увеличение содержания растворенного Na на 1 % в месте разгрузки подмерзлотных грунтовых вод. В результате соотношение Ca/Na в придонных водах этого района уменьшилось

относительно всей акватории губы. Данная закономерность объясняется выпадением в осадок из раствора карбоната Са при промерзании осадочных толщ в момент образования подмерзлотных грунтовых вод в морских осадках, при этом в растворе начинают превалировать хлориды Na.

Естественные радионуклиды «квартета» радия: ^{224}Ra , ^{223}Ra , ^{228}Ra , ^{226}Ra — были отобраны из поверхностного и придонного горизонтов на всех станциях, за исключением станций 5, 6 и 14. Максимальные значения первоначальной активности ^{224}Ra и ^{223}Ra были зафиксированы в ранее обнаруженном месте разгрузки субмаринных грунтовых вод (ст. 2), где ранее также были зафиксированы и высокие значения ^{228}Ra , ^{226}Ra , указывающие на грунтовый генезис данных вод. Высокие значения ^{224}Ra и ^{223}Ra были получены и на станциях 9 и 7, однако вывод о генезисе данных аномалий будет сделан после измерений долгоживущих изотопов ^{228}Ra и ^{226}Ra в лаборатории института, так как высокая активность короткоживущих изотопов может быть связана и с эрозионными процессами.

Стабильные изотопы $\delta^{18}\text{O}$, δD наряду с ^{226}Ra также трассируют выходы грунтовых вод, кроме того, раскрывают их генезис [5 ; 7]. По составу стабильных изотопов $\delta^{18}\text{O}$ и δD было обнаружено существенное присутствие на станции 2 вод, образованных под влиянием рециркуляции воды, сформированной в условиях более сухого и холодного климата, чем современный. Это указывает на подмерзлотный генезис данных вод, так как известно, что такой климат существовал в этом районе в период последнего оледенения, когда происходило формирование мерзлоты [2].

На станциях 2, 3 и 4 было зарегистрировано существенное обеднение зоопланктона, которое, однако, могло быть связано и со значительным влиянием речного стока. Мористее этой точки, на станции 11, облик планктонных сообществ носил «фоновый» характер, мало отличающийся от характерного для обширных мелководных акваторий южной части моря Лаптевых.

Бентос станций 2, 3 и 4 существенно не выделялся по численности и биомассе среди всех станций губы Буор-Хая, что в какой-то степени закономерно, так как физико-гидрохимические условия западной (под влиянием реки Лены) и восточной (под влиянием вод моря Лаптевых) частей губы сильно отличаются и закономерно имеют фундаментально разные условия развития зоогеографических групп. Однако если посмотреть на эстуарный (авандельтовый) район, то минимальные характеристики выделяются на станциях 2, 3 и 4. Ранее на станциях 2, 3 и 4 мы обнаружили развитие гипоксических процессов, связанных с активным окислением органики на станциях 3 и 4 и разгрузкой субмаринных грунтовых вод на станции 2.

Таким образом, наиболее вероятной причиной формирования угнетённых биоценозов как в воде, так и в донных осадках является развитие гипоксических процессов, связанных с активным окислением органики на станциях 3 и 4 и разгрузкой подмерзлотных грунтовых вод на станции 2. Сукцессия биоценозов проявляется в уменьшении основных количественных характеристик гидробионтов и увеличением присутствия не требовательных к кислороду и эвригалинных организмов.

Финансирование

Стоимость исполнения договора на оказание транспортных услуг путем осуществления закупки у исполнителя в соответствии с Федеральным законом № 223-ФЗ от 18.07.2011 г. «О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц» — 1480 тыс. рублей. Финансирование договора осуществлялось средствами гранта РНФ «Влияние разгрузки субмаринных грунтовых вод на морские экосистемы в восточно-арктических морях России» (проект № 19-17-00058, рук. к. г.-м. н. А. Н. Чаркин). Также по этому гранту финансировались транспортные расходы большей части участников экспедиции. Выполнение задач экспедиции обеспечивалось финансированием из грантов РФФИ конкурсов «Ресурсы Арктики» и «А» (проекты № 18-05-70047, № 17-05-00148, № 18-05-00559 и № 20-05-00545), а так-

же в рамках госзадания лаборатории перспективных методов морских исследований № гос. рег. AAAA-A20-120011090005-7 «Разработка и внедрение перспективных методов исследования состояния окружающей среды и ее ресурсного потенциала в условиях активизации промышленного развития России в Дальневосточном и Арктическом регионах».

ЛИТЕРАТУРА

1. Романовский Н. Н. Основы криогенеза литосферы. М. : Изд-во МГУ, 1983. 336 с.
2. Кайнозойские отложения Западного Ямала и проблема их генезиса / Стрелецкая И. Д., Шполянская Н. А., Крицук Л. Н., Сурков А. В. // Вестник МГУ. Сер. 5, География. 2009. № 3. С. 50–57.
3. Cornwell J. C., Kemp W. M., Kana T. M. Denitrification in coastal ecosystems: methods, environmental controls, and ecosystem level controls, a review // Aquatic Ecology. 1999. Vol. 33. P. 41–54. DOI: [10.1023/A:1009921414151](https://doi.org/10.1023/A:1009921414151)
4. Discovery and characterization of submarine groundwater discharge in the Siberian Arctic seas: A case study in the Buor-Khaya Gulf, Laptev Sea / Charkin A. N., Rutgers van der Loeff M., Shakhova N. E. [et al.] // The Cryosphere. 2017. Vol. 11. P. 2305–2327. DOI: [10.5194/tc-11-2305-2017](https://doi.org/10.5194/tc-11-2305-2017)
5. Freshwater seepage into sediments of the shelf, shelf edge, and continental slope of the Canadian Beaufort Sea / Gwiazda R., Paull C. K., Dallimore S. R. [et al.] // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. 2018. Vol. 19, № 9. P. 3039–3055. DOI: [10.1029/2018GC007623](https://doi.org/10.1029/2018GC007623)
6. Thamdrup B., Dalsgaard T. Production of N₂ through anaerobic ammonium oxidation coupled to nitrate reduction in marine sediments // Applied and Environmental Microbiology. 2002. Vol. 68, № 3. P. 1312–1318. DOI: [10.1128/AEM.68.3.1312-1318.2002](https://doi.org/10.1128/AEM.68.3.1312-1318.2002)
7. Discharge of meteoric water in the eastern Norwegian Sea Since the last glacial period / Hong W.-L., Lepland A., Himmler T. [et al.] // Geophysical Research Letters. 2019. Vol. 46, № 14. P. 8194–8204. DOI: [10.1029/2019GL084237](https://doi.org/10.1029/2019GL084237)

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ В 40-М РЕЙСЕ НИС «АКАДЕМИК НИКОЛАЙ СТРАХОВ» (30 МАЯ — 24 ИЮНЯ 2019 Г.)

Н. Г. Яковлев^{1,2}, А. В. Зимин³, И. А. Репина^{4,5}

¹Институт безопасного развития атомной энергетики РАН

²Институт вычислительной математики им. Г. И. Марчука РАН

³Санкт-Петербургский филиал Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН

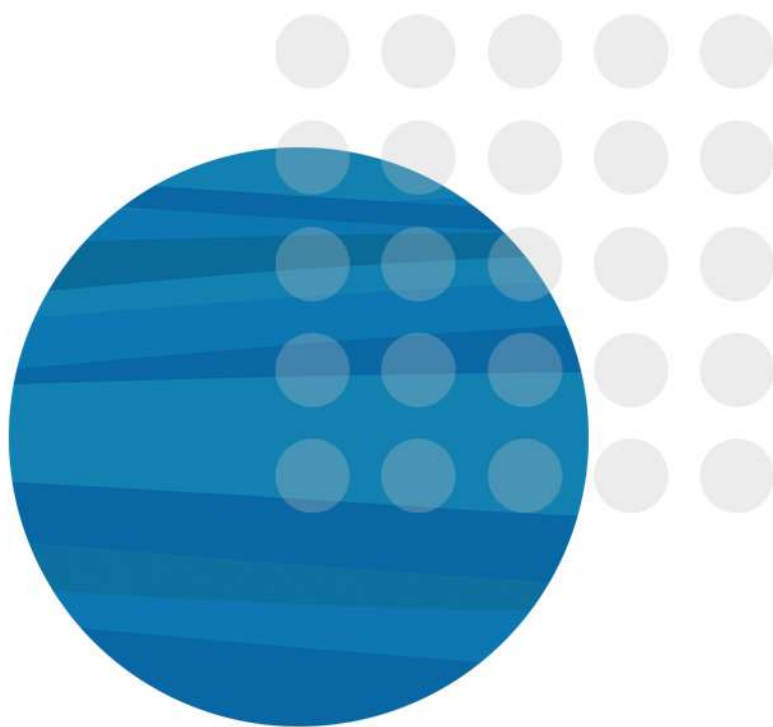
⁴Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН

⁵Научно-исследовательский вычислительный центр МГУ им. М. В. Ломоносова

Основной задачей экспедиции было проведение гидрологических (температура, солёность, давление, скорость течений) и метеорологических измерений в небольшом районе южной части Баренцева моря на плотной сетке с расстоянием между станциями примерно 3 мили. Выполнялись две последовательные съёмки, каждая продолжительностью 5 суток, положение станций в первом и втором проходах точно совпадало. Всего в Баренцевом море было сделано 290 станций. Проведение работ на первом этапе совпало с арктическим вторжением, что вызвало заметные изменения гидрологических характеристик в верхнем 50-метровом слое. Сравнение с климатическими данными World Ocean Atlas 2013 показывает значительное отличие от измеренных полей. Анализ показывает значительную изменчивость температуры поверхности океана по горизонтали с масштабами порядка размера сетки полигона, что согласуется с имеющимися данными по вихревой и фронтальной активности в этом районе. Получены подробные данные по структуре атмосферного пограничного слоя. Результаты измерений обрабатываются для получения синхронизированных трёхмерных полей течений, температуры и солёности с помощью численной модели и методов ассимиляции данных. Готовятся эталонные поля для верифицирования схем прогноза и для использования в прикладных задачах. Результаты экспедиции анализируются для выработки рекомендаций по оптимальному проведению мониторинга состояния моря в динамически сложных прибрежных районах. По результатам работы готовится серия публикаций.

На переходе из Балтийского в Баренцево море были сделаны работы в Лофотенской котловине Норвежского моря, всего за 2 суток было сделано 5 гидрологических станций. Тёплый сигнал в атмосфере над котловиной прослеживается до высоты 1000 м. С помощью штатного судового доплеровского профилографа удалось исследовать структуру течений в верхнем слое океана (200 м), которая представляет собой систему периферийных вихрей вокруг основного круговорота. По результатам работы готовится публикация.

Морские экспедиционные исследования в Атлантике



НОВЫЕ ДАННЫЕ О СОВРЕМЕННЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРИДОННЫХ УСЛОВИЯХ И ПРОЦЕССАХ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ В ВОСТОЧНОЙ ТРОПИЧЕСКОЙ АТЛАНТИКЕ ПОД ВЛИЯНИЕМ АНТАРКТИЧЕСКОГО ПРИДОННОГО ТЕЧЕНИЯ (ПО МАТЕРИАЛАМ 44-ГО РЕЙСА НИС «АКАДЕМИК НИКОЛАЙ СТРАХОВ»)

Л. Д. Баширова*, В. В. Сивков, Л. А. Кулешова, Е. П. Пономаренко, А. Г. Матуль, И. Ю. Дудков, В. А. Кречик, Е. С. Бубнова

Атлантическое отделение Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН

*bas_leila@mail.ru

В 44-м рейсе НИС «Академик Николай Страхов» (9–24 октября 2019 г.) проведены комплексные океанологические исследования в восточной тропической Атлантике (рис. 1) и получены новые данные о современных гидрологических условиях в придонном слое океана и процессах осадконакопления в Канарской котловине и в районе глубоководного прохода Кейн (поднятие Сьерра-Леоне) под влиянием антарктического придонного течения.

В экспедиции приняли участие 11 человек, из них 8 молодых учёных (до 39 лет), 3 магистранта Балтийского федерального университета им. И. Канта (базовая кафедра географии океана). Начальник экспедиции — Л. Д. Баширова.

Антарктическая донная вода (ААДВ) самая холодная, и плотная в Мировом океане, и поэтому самая глубинная. Из-за гигантского объёма ААДВ самые незначительные изменения ее свойств могут иметь глобальные климатические последствия.

Глубоководные каналы и проходы контролируют глубинный водообмен между океанскими бассейнами, а следовательно, и в целом придонную циркуляцию океанов. В относительно узких каналах и проходах течения усиливаются, а на выходе из них замедляются и «разгружаются» от осадочного вещества. Происходит формирование соответствующих контуритовых дрифтов — конусов выноса (channel-related fan drifts).

Основная часть ААДВ движется из моря Уэдделла на север по дну котловин Западной Атлантики. Значительно меньше известно о той ее ветви, которая распространяется в Восточной Атлантике.

Целью экспедиционных исследований было изучение современных гидрологических условий в придонном слое океана и реконструкция изменчивости поступления ААДВ в Северо-Восточную Атлантику на протяжении позднего плейстоцена и голоцена.

Методы исследований

Геолого-геофизические исследования включали в себя высокоразрешающее сейсмоакустическое профилирование на частотах 2–6 кГц и батиметрическую съёмку многолучевым эхолотом с использованием судовой акустической системы фирмы Reson, а также отбор проб донных осадков с помощью ударной гравитационной трубки.

Гидролого-геохимические работы проводились на станциях и включали в себя гидрофизическое зондирование зондом SBE (Sea-Bird Electronics) 19 plus и отбор проб воды гидрологическим комплексом SBE-32 Carousel Water Sampler. Пробы воды на определение концентрации кремния, растворенного кислорода и взвешенного вещества отбирались с заданных горизонтов батометрами Нискина (Hydro-bios) по результатам гидрофизического зондирования.

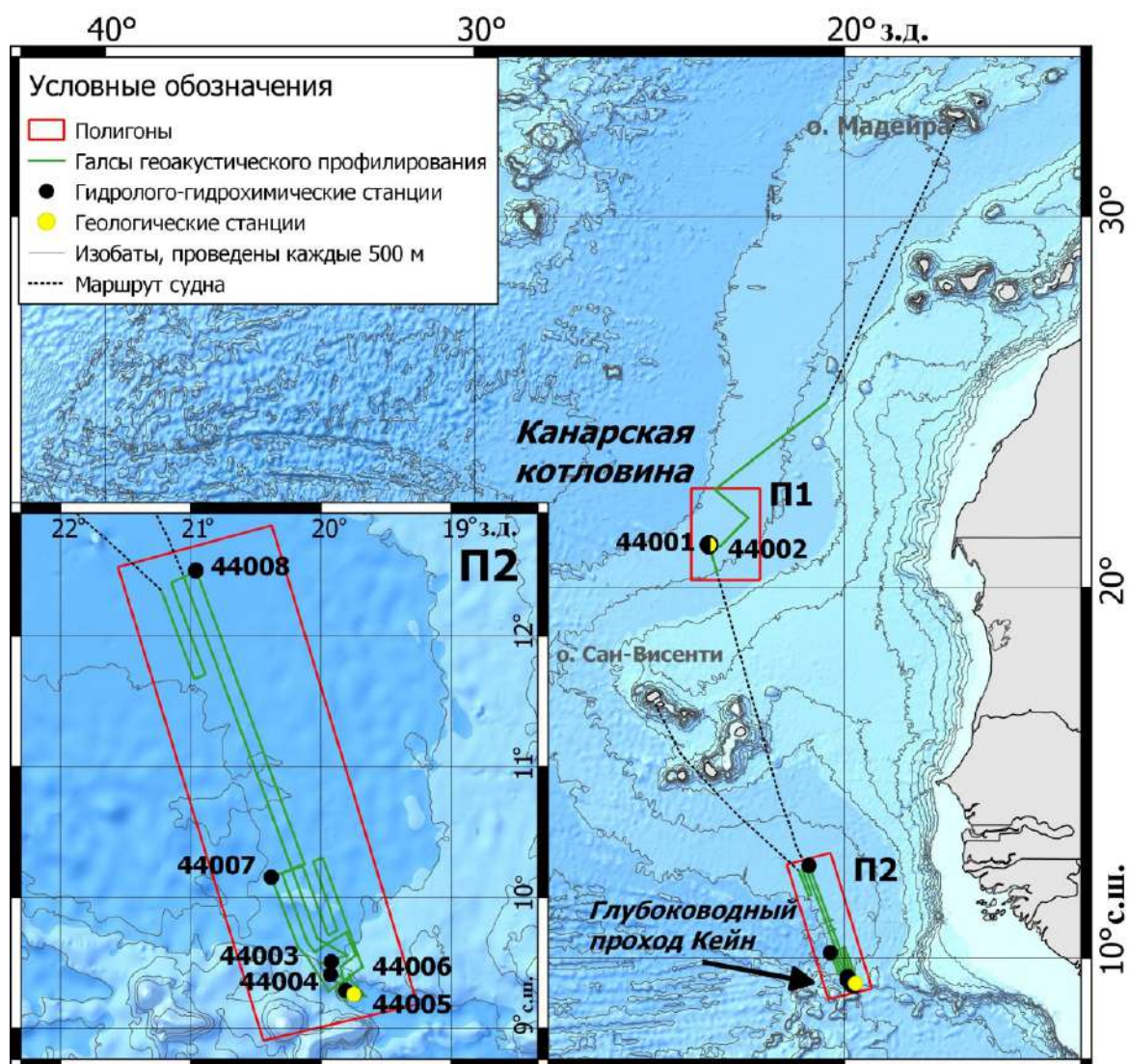


Рис. 1. Маршрут экспедиции и схема работ в 44-м рейсе «Академик Николай Страхов», положение полигонов работ (П1 и П2) и трассы геоакустического профилирования дна

Биологические работы включали визуальный учет морских обитателей, главным образом летучих рыб, по ходу движения судна и лов на станциях жаберной, плейстонной и кастинговой сетью, а также спиннингом.

По маршруту судна выполнялся попутный сбор золотой взвеси на аналитические аэрозольные фильтры, предназначенные для химического анализа (АФА-ХА), и кварцевоволоконные фильтры; сбор метеорологических данных с помощью судовой метеостанции и данных судового ADCP.

Предварительные научные результаты

Геолого-геофизические исследования

На основании полученных в рейсе данных многолучевого эхолотирования были построены цифровые модели рельефа дна (ЦМР) характерных участков Канарской котловины, котловины Зелёного Мыса, а также глубоководного прохода Кейн (рис. 2, 3).

По данным многолучевого эхолотирования, к северу от глубоководного прохода Кейн, пересекающего возвышенность Сьерра-Леоне, выявлено обширное осадочное тело размером ~ 100 x 50 км с седи-

ментационными волнами высотой до 50 м – дельтовый контуритовый дрейф. Максимальная мощность дрейфа превышает 140 м. Происхождение выявленного дельтового дрейфа связано с разгрузкой течения ААДВ, распространяющегося в северном направлении при выходе из глубоководного прохода Кейн.

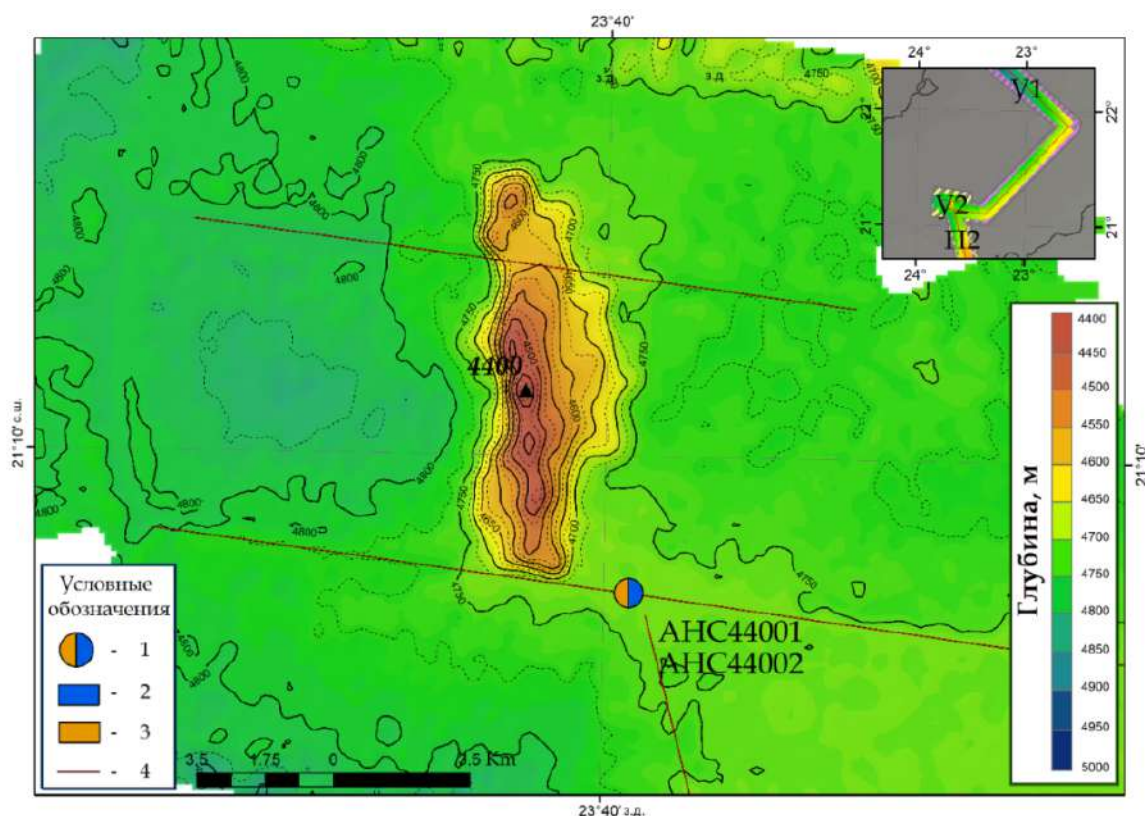


Рис. 2. Пример ЦМР отдельного участка в Канарской котловине: 1 — океанологические станции (2 — гидрологическая, 3 — геологическая), 4 — трассы многолучевого эхолотирования (МЛЭ) и геоакустического профилирования

Методом акустического профилирования дна были обнаружены некоторые отличительные черты рельефа: стратифицированные осадки мощностью 20–30 м, несогласия, седиментационные волны, сформированные разгрузкой контурного течения ААДВ в глубоководном проходе Кейн.

В отобранных колонках донных осадков (средний плейстоцен — голоцен) влияние ААДВ проявляется в чередовании слоёв пониженного и повышенного содержания карбонатного материала, отмечены интервалы повышенной биопродуктивности поверхностных вод.

Гидролого-геохимические исследования

В Канарской котловине идентифицировано 5 водных масс, характерных для этой части Атлантического океана. От поверхности до глубины около 100 м распространяется поверхностная вода, которая подстигается североатлантической центральной водой. Глубже, в диапазоне глубин 700–1500 м, залегают средиземноморская и в значительной мере трансформированная антарктическая промежуточная воды (АПВ). Североатлантическая глубинная вода (САГВ) распространяется до глубины 4500 м. На этой глубине проходит изолиния потенциальной температуры 2 °С, являющаяся в данном районе верхней границей распространения ААДВ.

В районе глубоководного прохода Кейн выделяются 4 водные массы: поверхностная, южноатлантическая центральная, АПВ, САГВ и ААДВ. По данным гидрофизического зондирования, к северу от глу-

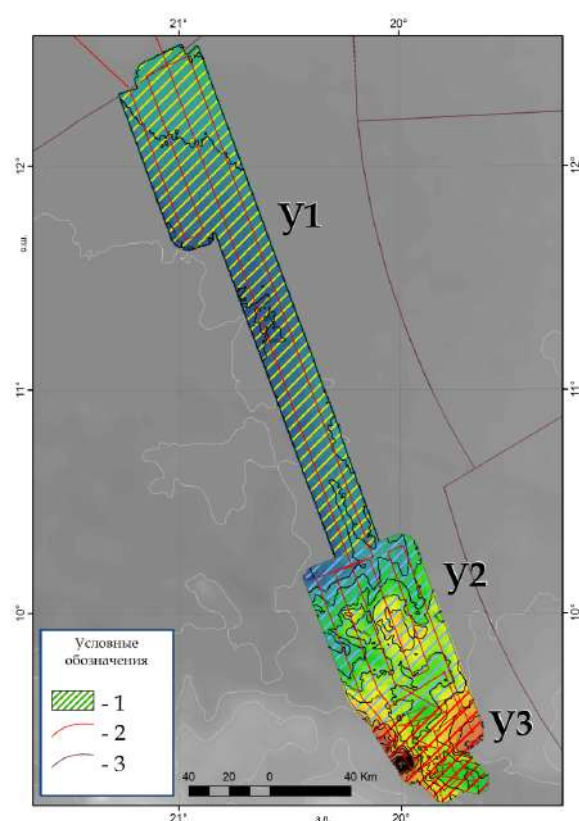


Рис. 3. ЦМР дна восточной части котловины Зелёного Мыса и глубоководного прохода Кейн по данным МЛЭ: 1 – участки съёмки в пределах П2; 2 – трассы МЛЭ и геоакустического профилирования; 3 — ИЭЗ

боководного прохода Кейн (глубина 4500–4600 м) в придонном слое выявлен значительный наклон изотерм — около $4 \text{ м} \cdot \text{км}^{-1}$ (рис. 4). Это указывает на существование современного перетока ААДВ через проход в северном направлении. ААДВ идентифицировалась по предельному значению потенциальной температуры $1,9^\circ\text{C}$ и характерным значениям концентрации кислорода и кремния.

Вертикальное распределение поля обратного рассеяния имеет выраженное трёхслойное строение. На основе этих данных были получены вертикальные профили распределения относительной концентрации взвешенного вещества в районе глубоководного прохода Кейн. Обнаружен чётко выраженный придонный нефелоидный слой мощностью до 300 м, свидетельствующий об активной гидродинамике. Максимальные значения относительной концентрации взвеси отмечены в северной части прохода Кейн. При проведении биологических работ и наблюдений по маршруту судна было отмечено 17 660 вылетов летучих рыб.

Экспедиция проведена в рамках госзадания ИО РАН по темам № 0149-2019-0013 (Канарская котловина: построение цифровой модели рельефа дна по данным многолучевого эхолотирования, литологические исследования колонки; глубоководный проход Кейн: сбор и изучение золотой взвеси, гидрохимические исследования) и № 0149-2019-0009 (биологические исследования). Анализ гидролого-гидрофизических данных в глубоководном проходе Кейн и к северу от него, построение цифровой модели рельефа дна по данным многолучевого эхолотирования в районе глубоководного прохода Кейн, а также палеоокеанологические исследования выполнялись в рамках проекта РНФ № 19-17-00246.

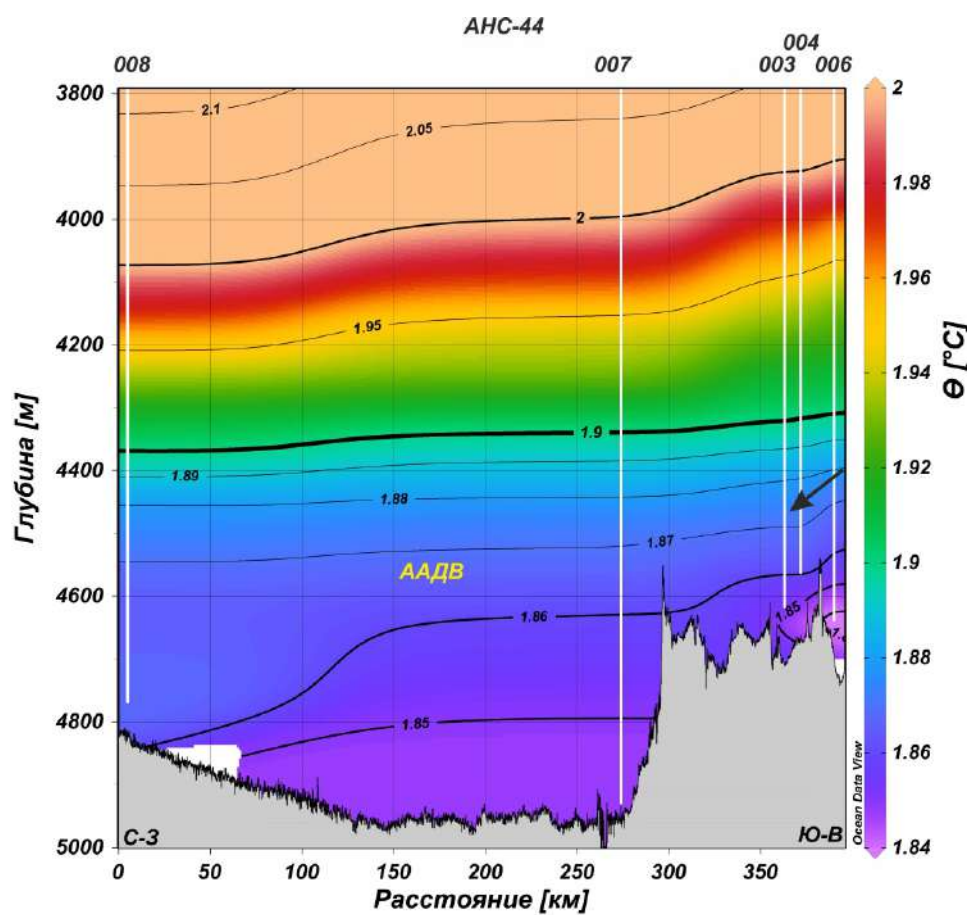


Рис. 4. Распределение потенциальной температуры в глубинном слое П2

КЛИМАТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ В 77-М РЕЙСЕ НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ» В АВГУСТЕ — СЕНТЯБРЕ 2019 Г.

С. В. Гладышев., В. С. Гладышев, Д. П. Стародымова, Г. В. Малофеев, Н. В. Политова.,
А. Б. Демидов

Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН

Новые результаты, полученные в 77-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» (август — сентябрь 2019 г., Северная Атлантика):

1. Зарегистрировано продолжение затухания аномальной глубоководной зимней конвекции в море Ирмингера (восточнее круговорота Ирмингера), следы недавней вентиляции по уровню насыщения вод растворённым кислородом обнаружены только на одной станции до глубины около 1250 м (рис. 1).

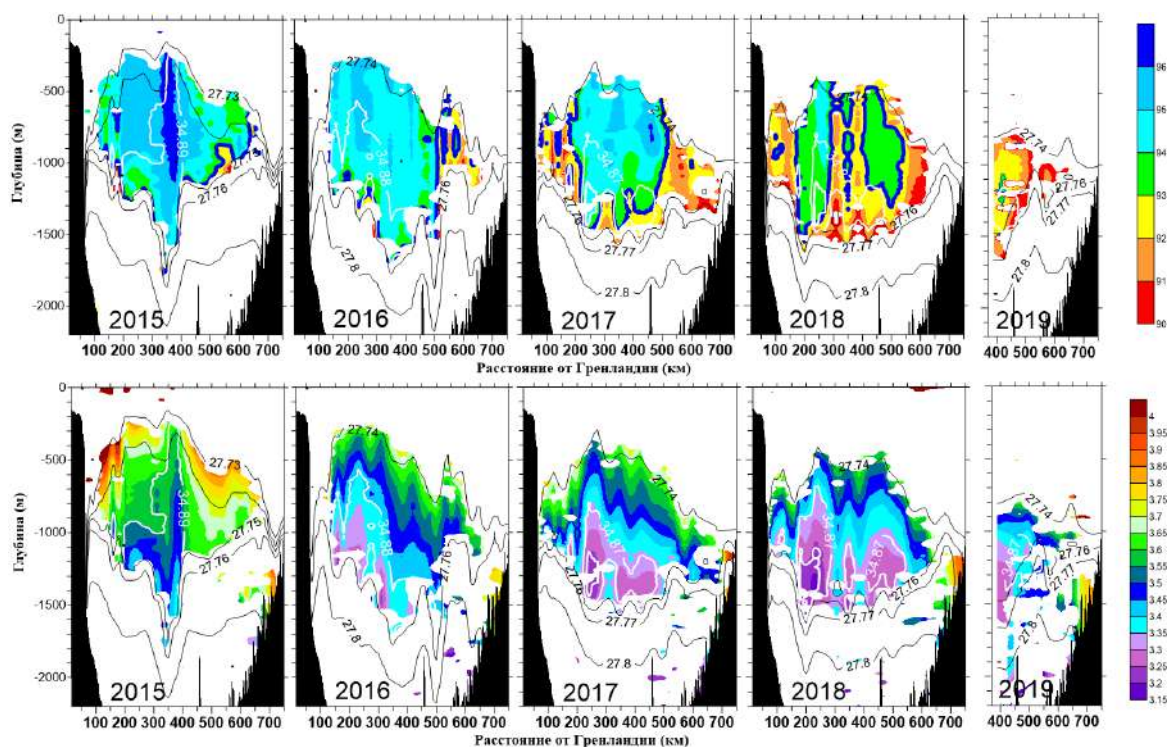


Рис. 1. Изменение насыщения ядра лабдорских промежуточных вод растворённым кислородом в % и изменчивость его потенциальной температуры в °C в 2015–2019 гг.

2. Выполнена идентификация основных струй Северо-Атлантического течения верхнего звена циркуляции субполярного круговорота на трансатлантическом разрезе вдоль 59,5° с. ш. по данным прямых измерений течений и распределению солёности в верхнем слое (рис. 2). Обнаружено смещение восточной границы субполярного круговорота в западном направлении в 2019 г.
3. Обнаружено повсеместное распреснение вод в проходе Роколл в 2018–2019 гг. (рис. 3).
4. Получены новые данные о термохалинной и кинематической структуре «болусов» (холодных линз) в Датском проливе. Обнаружена серийность «болусов» и значительная протяжённость периода их перетекания через порог.

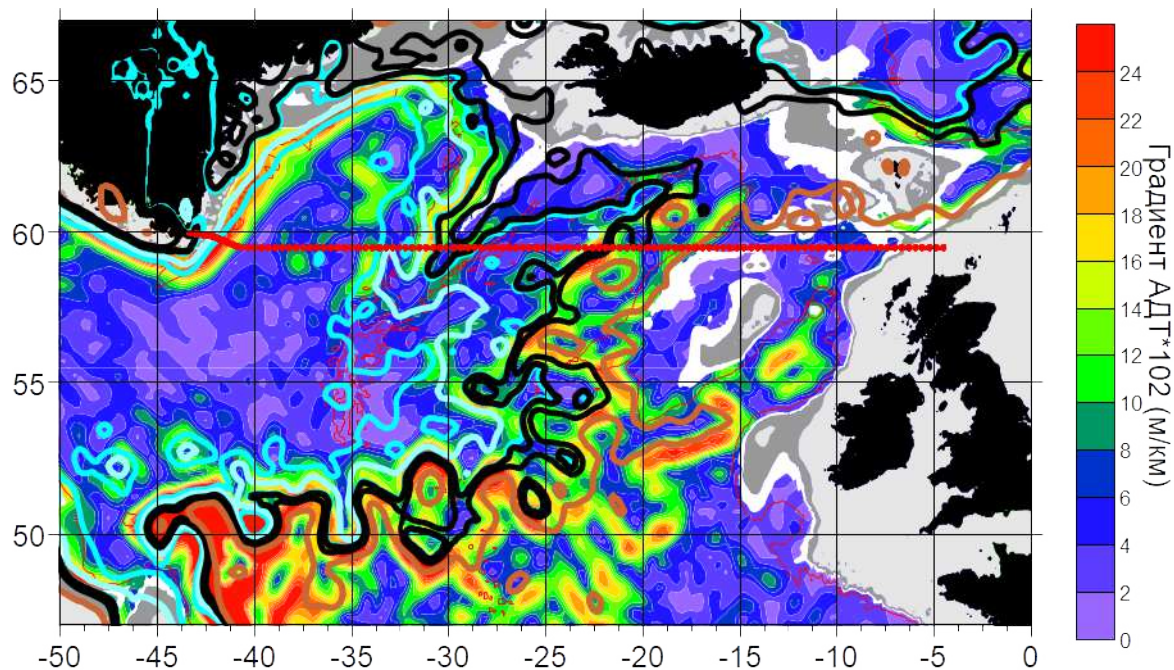


Рис. 2. Положение струй Северо-Атлантического течения в августе 2019 г. (коричневым цветом показана южная ветвь, чёрным — центральная ветвь, голубым — северная ветвь)

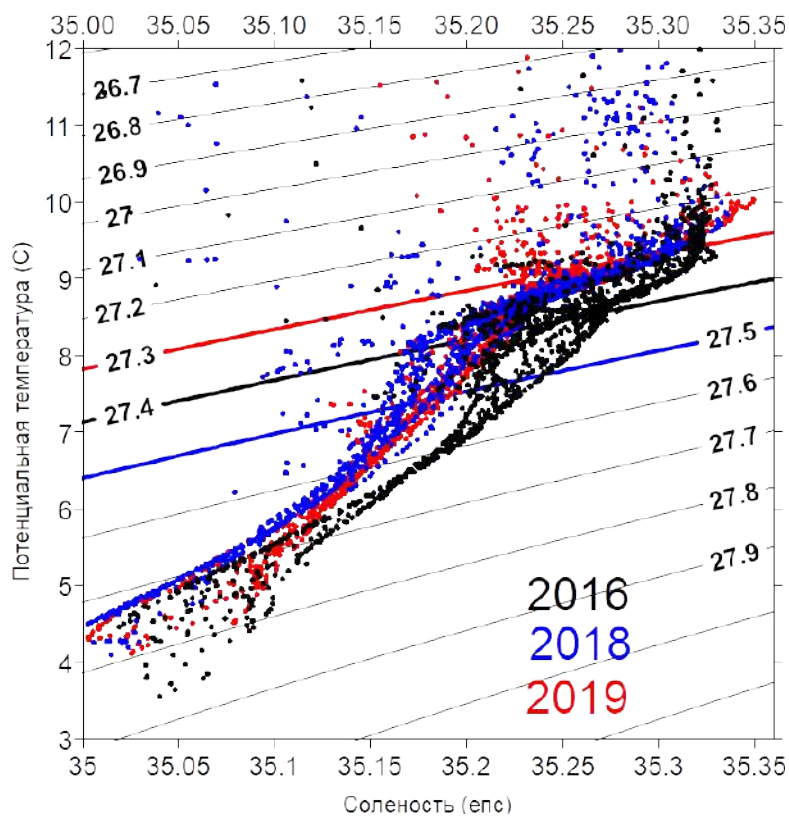


Рис. 3. TS-кривые вод в проходе Роколл в 2016–2019 гг.

5. Исследования аэрозолей сетевым методом показали невысокие величины потоков из-за небольшой концентрации аэрозолей в воздушных массах, распространявшихся с севера. Наибольшие потоки ($99 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$) были отмечены при прохождении судна от берегов Исландии на восток. Обратные траектории воздушных масс, построенные для этой пробы, показали, что воздушные массы приносились в основном с запада, то есть могли подхватывать частички суши (Исландия) (рис. 4).

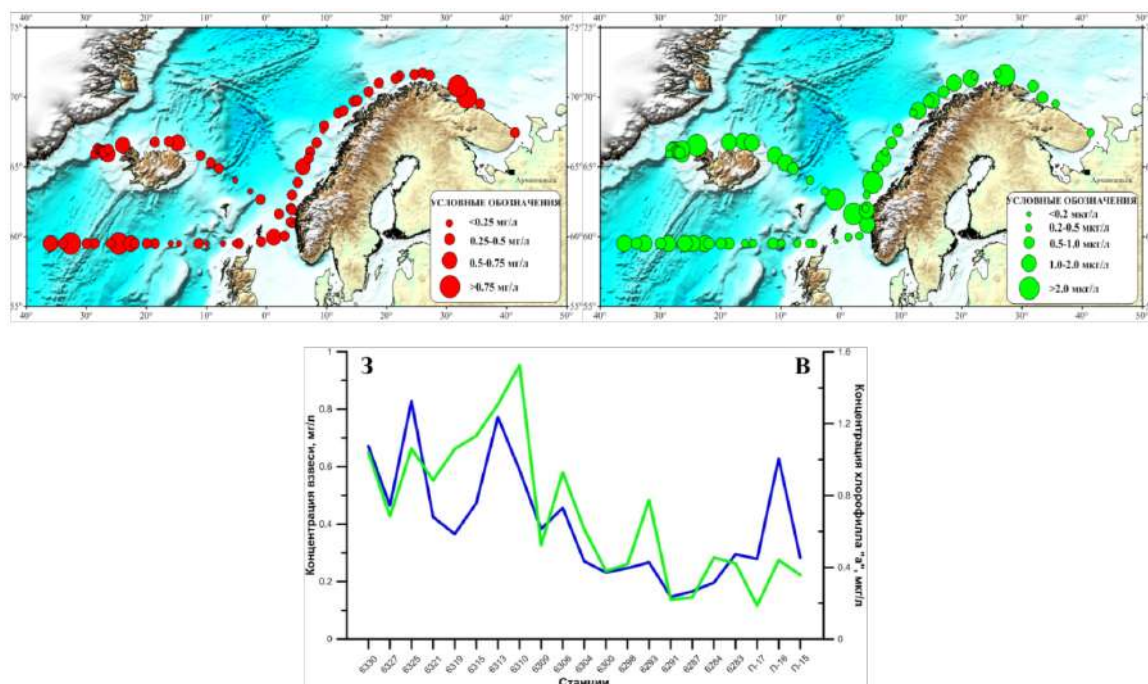


Рис. 4. Изменение содержания взвешенного вещества (слева сверху и синяя линия – $\text{мг} \cdot \text{л}^{-1}$) и хлорофилла а (справа сверху и зеленая линия — $\text{мкг} \cdot \text{л}^{-1}$) по пути следования судна (вверху) и на разрезе вдоль $59^{\circ}30'$ с. ш. (внизу)

6. Выполнены исследования водной взвеси по всему пути следования судна, включая работы в маргинальном фильтре Северной Двины. В Баренцевом море наблюдалось цветение фитопланктона (кокколитофорид), что отразилось как на количественном, так и на качественном составе рассеянного осадочного вещества. На разрезе вдоль $59^{\circ}30'$ с. ш. от берегов Норвегии замечен тренд общего повышения содержания взвешенного вещества и хлорофилла а на запад (рис. 4), что может быть связано с цветением фитопланктона. Проявления циркумконтинентальной зональности в распределении концентраций взвеси особенно заметны в восточной части разреза, у берегов Европы, где в поверхностных водах заметно влияние терригенного вещества, принесённого с суши. Наиболее высокие концентрации взвеси в толще вод установлены в верхнем перемешанном и в придонном нефелоидном слоях (рис. 4).
7. Отбор проб донных осадков выполнен на 2 станциях, во впадинах на хребтах Рейкъянес и Колбейнсей. Донные осадки отличаются разительно: для хребта Рейкъянес, пересечённого на $59^{\circ}30'$ с. ш., характерны биогенные фораминиферовые илы со спикулами губок (рис. 5), особенно на поверхности осадка; для впадины вблизи хребта Колбейнсей (севернее Исландии) характерны терригенные гомогенные пелитовые осадки с обильным присутствием гидротроилита (рис. 6). Отобрана колонка донных осадков длиной 7,7 м. Отсутствие биогенного карбонатного материала, оливково-темно-серый цвет основной массы осадка, слабое изменение влажности (около

52 %), незначительное изменение показателей pH и Eh свидетельствуют в пользу предположения, что осадок образовался в результате осаждения значительных масс терригенного вещества в короткий период. Отсутствие перерывов (резких границ) позволит выявить особенности осадконакопления в непрерывном временном интервале.

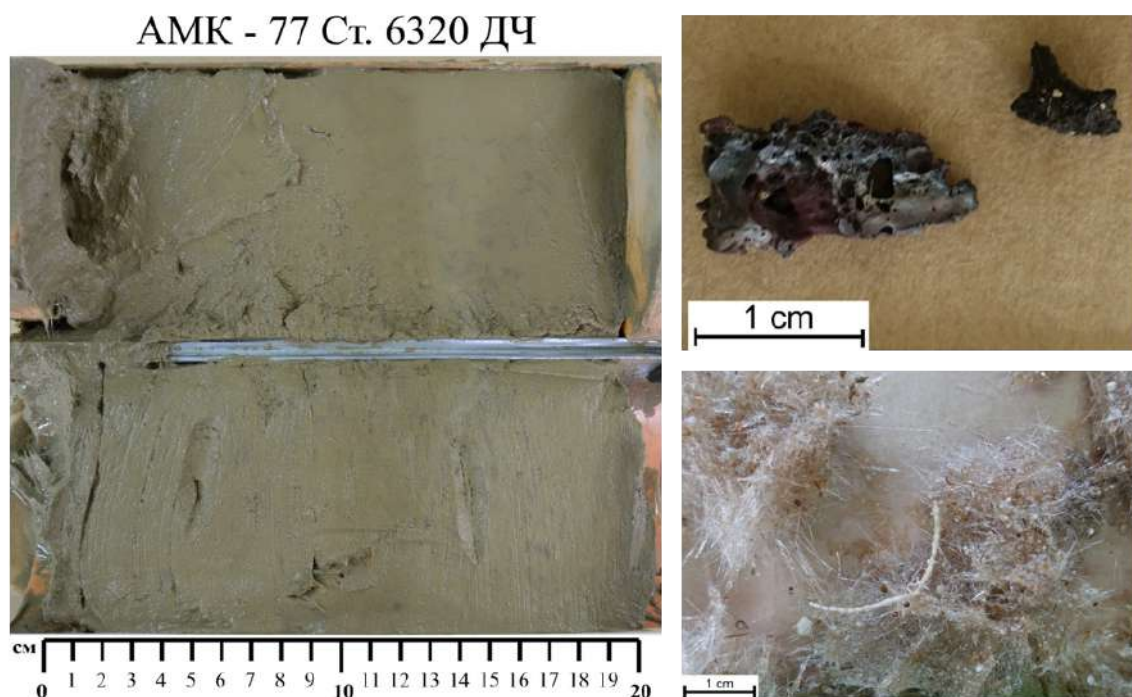


Рис. 5. Фораминиферовый (глобигериновый) ил с обильными спикулами губок, чехлами от полихет, фрагментами вулканогенных пород

8. По содержанию хлорофилла на разрезе вдоль 59,5° с. ш. в августе 2019 г. можно выделить две зоны. Восточная зона включает шельф, континентальный склон и восточную часть Исландской котловины. К западной зоне принадлежат западная часть Исландской котловины, хребет Рейкьянес и восточная часть моря Ирмингера. Концентрация хлорофилла на поверхности и в слое фотосинтеза в западной зоне разреза превышала значения в восточной зоне в 2,2 и 1,5 раза соответственно. Следует отметить, что по значениям первичной продукции в столбе воды, напротив, восточная часть разреза оказалась в 1,2 раза продуктивнее западной. Разница значений первичной продукции на поверхности была незначительной (рис. 7).
9. И на разрезе вдоль 59,5° с. ш., и в Датском проливе отмечена очень слабая связь первичной продукции в столбе воды с концентрацией хлорофилла. Напротив, ИПП была тесно связана со средним ассимиляционным числом в слое фотосинтеза. Такая картина свидетельствует о незначительном влиянии показателя биомассы фитопланктона, которым является хлорофилл, на первичную продукцию в Северной Атлантике в августе. Первичная продукция в столбе воды в исследованный период определялась уровнем ассимиляционной активности фитопланктона.
10. Вертикальное распределение первичной продукции и хлорофилла в Северной Атлантике в августе 2019 г. характеризовалось отсутствием глубинных максимумов. Максимумы этих показателей, как правило, регистрировались на поверхности или в приповерхностном слое, с глубиной показатели постепенно уменьшались.

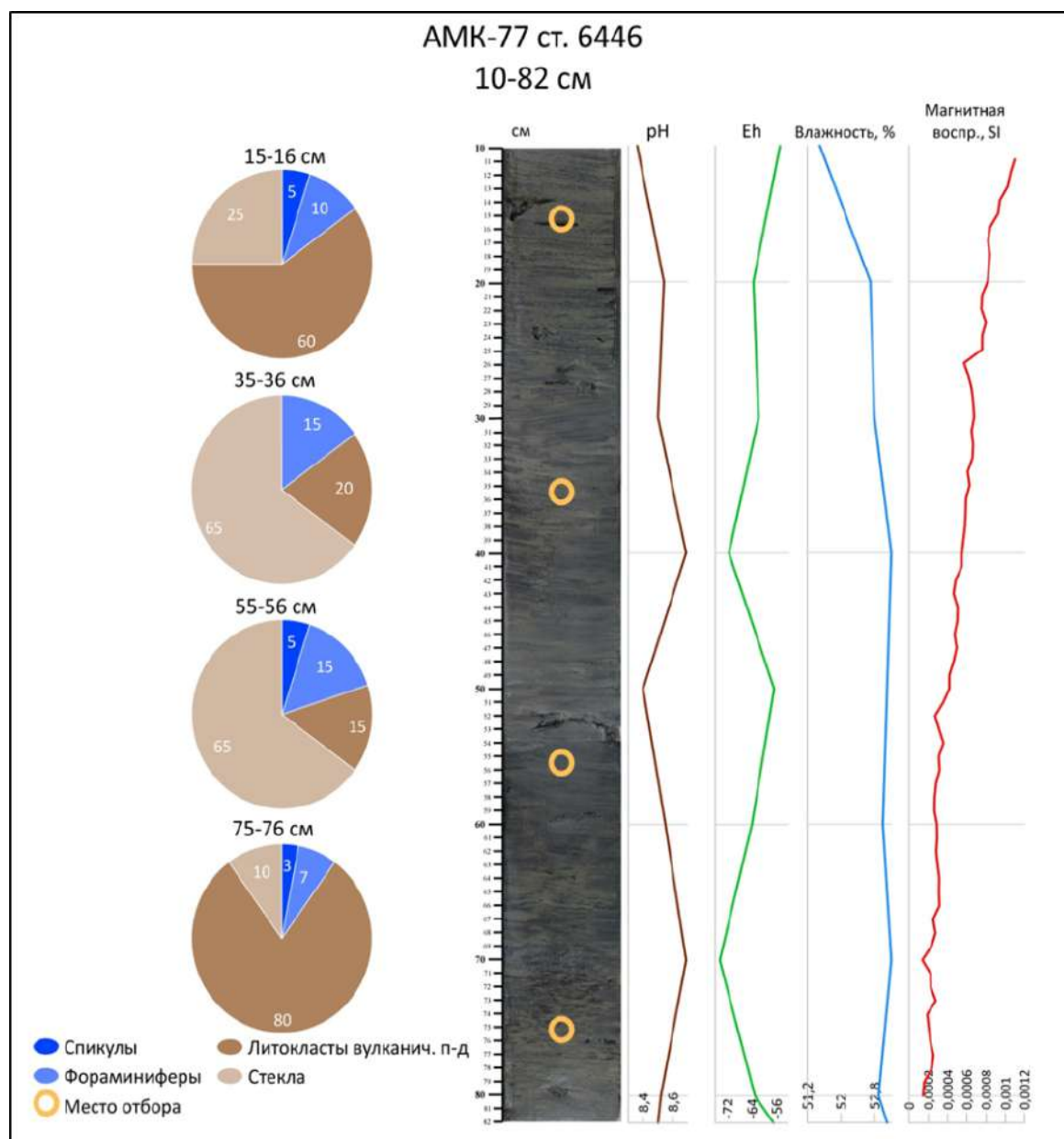


Рис. 6. Терригенный пелитовый ил с обильным количеством гидротроилита (результаты изучения отмывок и экспресс-анализов)

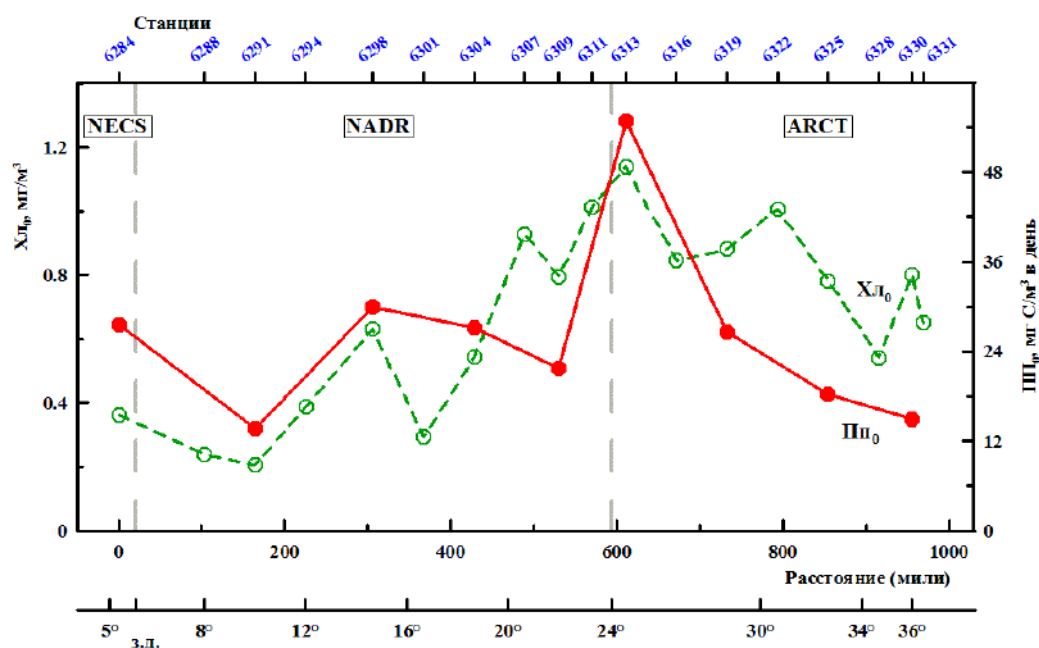


Рис. 7. Распределение содержания хлорофилла а ($X_{\text{л}_0}$) и первичной продукции (ПП_0) на поверхности разреза по 60° с. ш. в августе 2019 г. Биогеохимические провинции: ARCT — Арктика; NECS — Северо-Восточный континентальный шельф Европы; NADR — Северо-Атлантическое течение

11. Сравнение уровней продуктивности Датского пролива в июле 2018 г. и августе 2019 г. показало, что концентрация хлорофилла на поверхности и в столбе воды в августе была выше в 2,5 и 2 раза соответственно. Напротив, средние величины первичной продукции на поверхности и в столбе воды в июле и августе практически не различались. Превышение значений в августе составило всего 1,1 раза для обоих показателей.

Экспедиция 77-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» была проведена по темам госзаданий № 0149-2019-0002 и № 0149-2019-0007 и финансировалась грантами РФФИ № 19-05-00787 и № 18-05-00194, а также грантами Минобрнауки РФ 14.613.21.0083 и 14.616.21.0075

КОМПЛЕКСНЫЕ ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ В 42 И 46-М РЕЙСАХ НИС «АКАДЕМИК НИКОЛАЙ СТРАХОВ»

Д. В. Дорохов*, В. Т. Пака, А. А. Кондрашов, И. Ю. Дудков, М. Ф. Маркиянова

Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН

*d_dorohov@mail.ru

В 2019 г. Институтом океанологии им. П. П. Ширшова РАН были проведены экспедиционные исследования в 42-м (17–27 августа 2019 г.) и 46-м рейсах (02–18 декабря 2019 г.) НИС «Академик Николай Страхов». Целью экспедиций являлся мониторинг пространственно-временных изменений абиотических и биотических компонентов экосистемы Балтийского моря, а также изучение антарктической донной воды в Северо-Восточной Атлантике и ее седиментологического эффекта. Геоакустические исследования в Атлантике были запланированы в 46-м рейсе на переходе судна из порта Санта-Крус-де-Тенерифе (Испания) в порт Калининград (Россия). Однако из-за неблагоприятных погодных условий работы в Атлантическом океане выполнить не удалось. В 42-м рейсе экспедиционные исследования проводились в Гданьской и Готландской впадинах Балтийского моря в исключительной экономической зоне (ИЭЗ) России (рис. 1). В 46-м рейсе работы проводились на Слупском пороге, в Слупском жёлобе и в Готландской впадине, в ИЭЗ Польши, а также в Гданьской впадине и на плато Рыбачий, в российском секторе юго-восточной части Балтийского моря (рис. 2). Всего было пройдено 1740 морских миль.

Задачи экспедиции

1. Получение данных о пространственной структуре и динамике вод на всех глубинах, включая придонный слой, на высокоразрешающих разрезах в зоне распространения солёных плотных североморских вод в Балтийское море.
2. Доработка и внедрение перспективных средств и методов исследования мезо- и микромасштабной структуры придонного слоя.
3. Идентификация и картирование донных ландшафтов Балтийского моря на основе геоакустических и гидробиологических исследований.
4. Отбор проб воды, донных отложений и биологического материала на опорных комплексных станциях в бассейне Южной Балтики для анализа в рамках общего экологического мониторинга Балтийского моря и специального мониторинга районов массового захоронения химического оружия (ХО).
5. Поиск потенциально опасных подводных объектов геоакустическими приборами по маршруту экспедиции и их идентификация с помощью телеуправляемой экспериментальной видеосистемы.
6. Оценка влияния адвекции вод различной солёности, плотности, температуры и насыщенности кислородом на различных участках трассы затоковых течений на макрозообентос; изучение состава и структуры донных сообществ.
7. Исследование генетического разнообразия бактериофагов Балтийского моря в условиях цианобактериальных цветений.
8. Изучение характеристик зоо- и иктиопланктона в летне-осенний период в бассейне Балтийского моря в связи со структурой вод.

9. Исследование сезонных особенностей таксономического разнообразия и структуры фитопланктона Балтийского моря в различных бассейнах; исследование вертикального распределения фитопланктона для выяснения природы максимумов хлорофилла а, наблюдающихся глубже фотического слоя.
10. Описание состава, структуры доминантного комплекса и количественных характеристик фитопланктона.

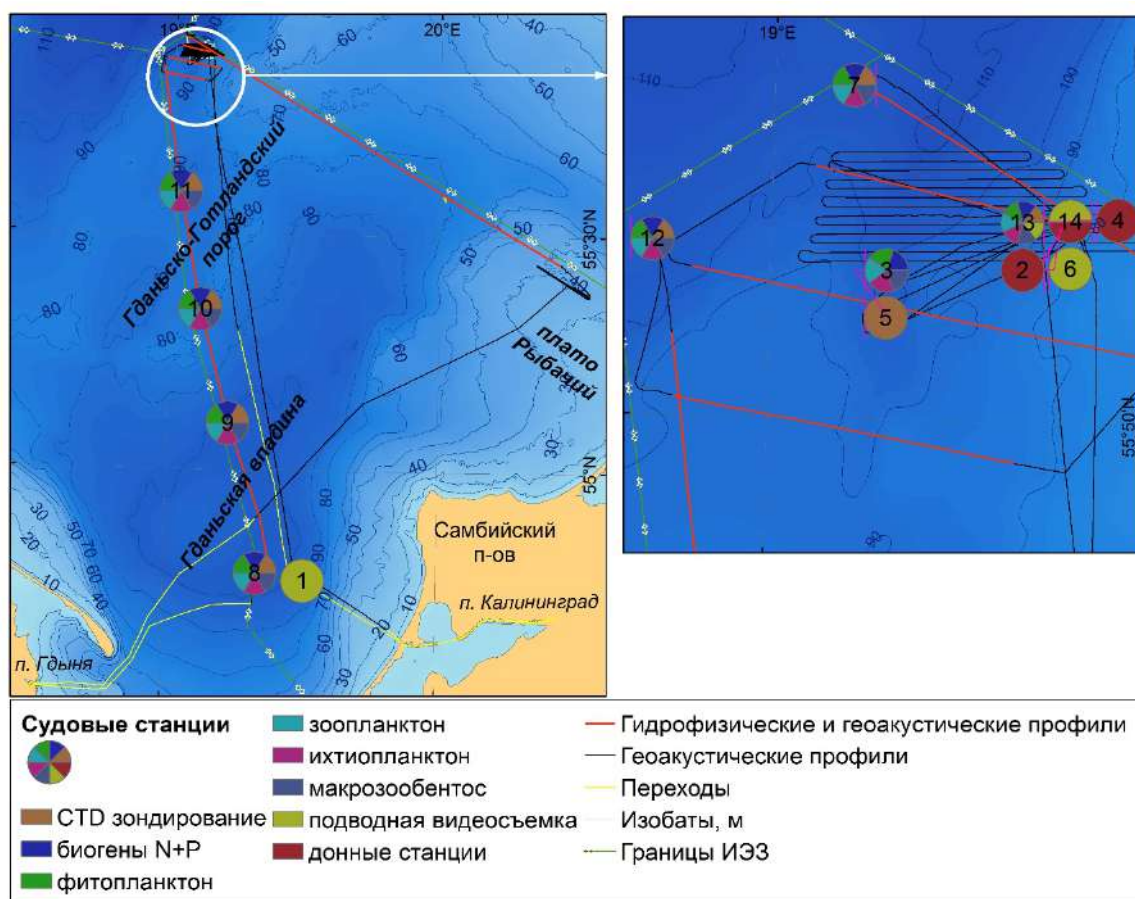


Рис. 1. Схема работ в 42-м рейсе НИС «Академик Николай Страхов» в Балтийском море

Методы исследований

Работы проводились на океанологических станциях, гидрологических и геофизических разрезах. На геофизических профилях выполнялась батиметрическая съемка многолучевым эхолотом RESON SeaBat 8111 (частота 100 кГц, 101 луч) и акустическое профилирование донных осадков профилографом EdgeTech 3300 (частота 2–16 кГц). Всего было выполнено 1286 км геоакустических галсов.

На высокоразрешающих гидрологических разрезах осуществлялось измерение основных гидрофизических параметров водной толщи от поверхности до дна с помощью разработанной в Атлантическом отделении Института океанологии РАН (ИО РАН) системы непрерывного CTD-зондирования на ходу судна, оснащенной мультипараметрическими зондами Idronaut Ocean Seven 310 и Sea&Sun CTD48M. Одновременно проводилось измерение профиля скорости течений в водной толще акустическим профилографом скорости течений ADCP RDI Teledyne Workhorse Ocean Surveyor. В августе гидрофизические раз-

резы выполнялись в российском секторе юго-восточной части Балтийского моря общей протяженностью 251 км, а в декабре — 105 км на Слупском пороге в ИЭЗ Польши.

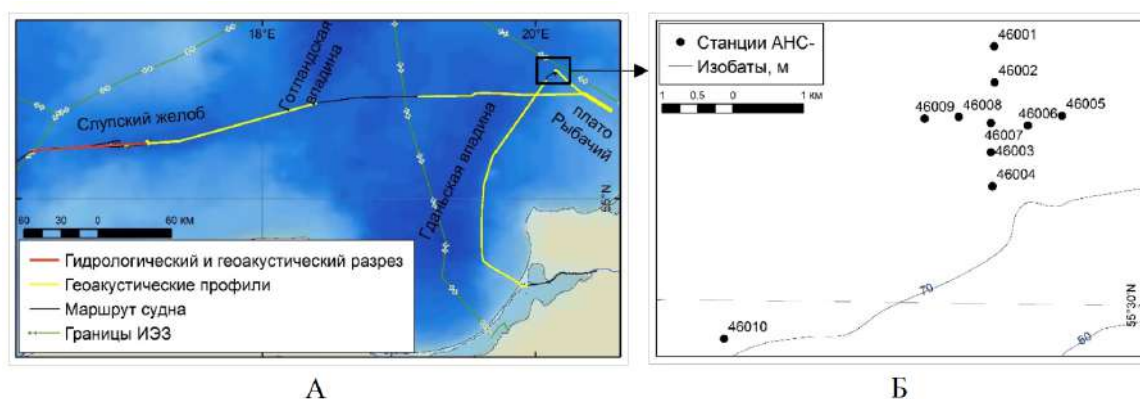


Рис. 2. Схема работ в 46-м рейсе НИС «Академик Николай Страхов» в Балтийском море: А — схема работ на разрезах, Б — схема работ на океанологических станциях

На океанологических станциях выполнялось CTD-зондирование водной толщи зондом Idronaut Ocean Seven 316 Plus и проводился отбор: проб воды 10 л батометром Нискина для изучения фито-планктона, проб зоопланктона сетью WP-2, проб ихтиопланктона сетью ИКС-80, проб донных осадков дночерпателем Ван-Вина для изучения макробоиотоса. Прозрачность воды измерялась диском Секки. Всего было выполнено 23 океанологические станции. На станциях также выполнялись два снятия и одна постановка разработанных в Атлантическом отделении ИО РАН экспериментальных инклинометрических измерителей придонной скорости течений. В морских условиях впервые был испытан разработанный в Атлантическом отделении ИО РАН телеуправляемый подводный аппарат.

Основные результаты

В ходе многолучевой батиметрической съёмки на плато Рыбачий были уточнены границы распространения и морфология крупных вытянутых с юго-запада на северо-восток песчаных тел, которые предположительно являются затопленными реликтовыми дюнами. Геоакустическое профилирование выявило их слоистую структуру, которая свойственна современным дюнным образованиям (рис. 3). Дальнейшие геологические исследования в совокупности с полученным геоакустическим материалом позволят уточнить структуру песчаных тел и определить возраст их формирования, что имеет важное значение для изучения катастрофических изменений уровня моря в голоцене.

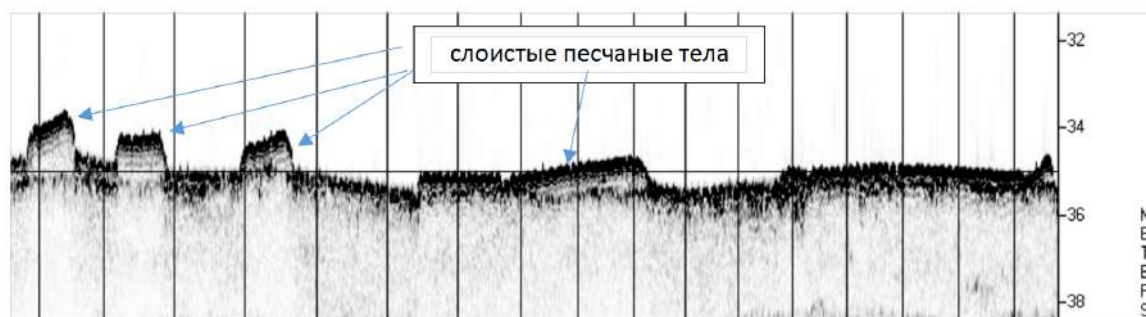


Рис. 3. Эхограммa аккумулятивных песчаных тел на поверхности морены на плато Рыбачий

Выявлены следы ледовой экзарации (плугмарки) на поверхности дна палеодолины на юго-восточном склоне Готландской впадины (рис. 4). Наличие плугмарков на поверхности палеодолины свидетельствует о том, что она образовалась ранее стадии Балтийского ледникового озера (БЛО), когда айсберговое выпаживание было наиболее активным. Отсутствие илистых донных отложений в ложбине свидетельствует об активной современной литодинамике. В ходе испытания нового экспериментального телеуправляемого подводного аппарата, разработанного в Атлантическом отделении ИО РАН, были отмечены следы ледового разноса на поверхности дна.

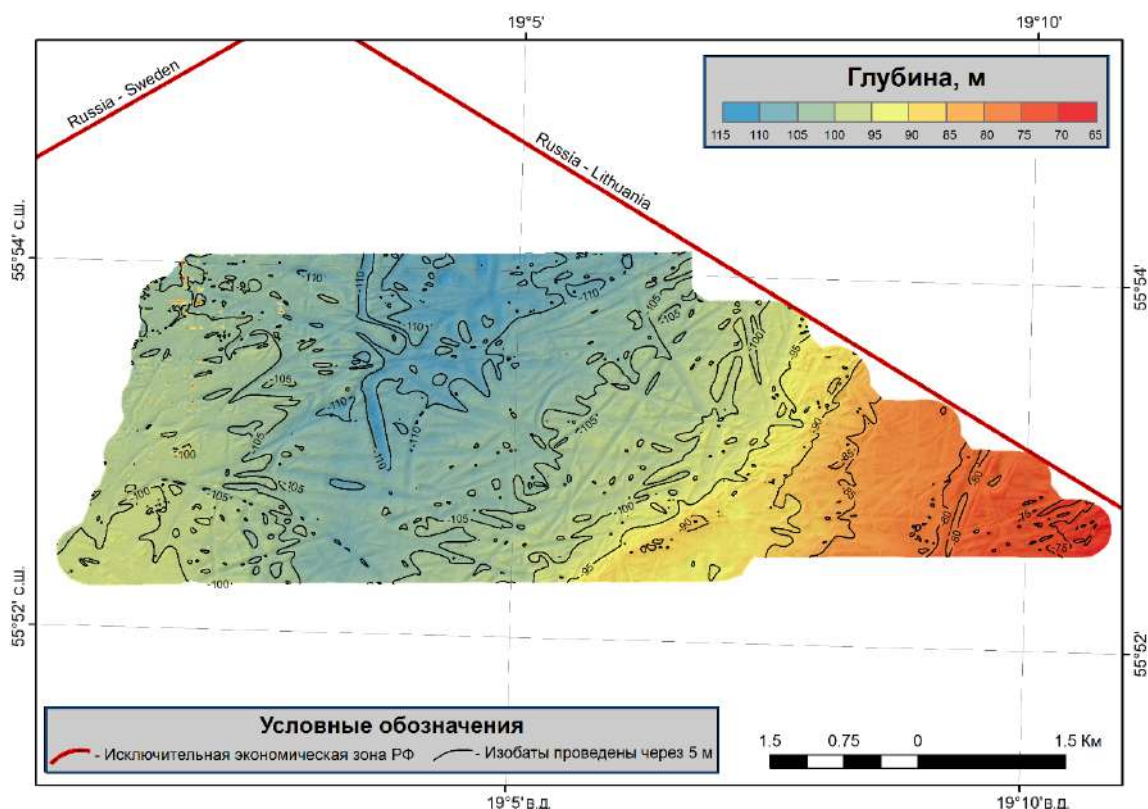


Рис. 4. Многолучевая эхолотная съёмка палеодолины на южном склоне Готландской впадины со следами ледовой экзарации на поверхности дна

На северо-восточном склоне Гданьской впадины выявлены погребённые борозды айсбергового выпаживания на нескольких горизонтах голоценовых донных отложений (рис. 5). Полученные материалы свидетельствуют о формировании рельефа дна и процессах осадконакопления на всех стадиях Балтийского ледникового озера и Иольдиевого моря в условиях интенсивной ледовой экзарации айсбергами, отколовшимися от отступающего Скандинавского ледника, и ледового разноса терригенного материала. Слоистая структура осадков БЛО (до 4-х отражающих горизонтов) маркирует резкие изменения в условиях осадконакопления. При накоплении осадков относительно крупной размерности наблюдается значительное усиление айсбергового выпаживания. В эти периоды значительного потепления усиливалось поступление крупного терригенного материала с речными стоками и одновременно увеличивалось число дрейфующих айсбергов.

Геоакустический разрез вдоль западной границы ИЭЗ РФ показал наличие многочисленных покмарков в центральной части Гданьской впадины, которые сформировались в ходе высачивания газов из илистых осадков. В наиболее глубоководном районе выявлены покмарки округлой формы, а на склонах —

овальной, что, вероятно, связано с придонной гидродинамикой. Интенсивное акустическое рассеивание над покмарками на сонограммах гидролокатора бокового обзора (ГЛБО) свидетельствует о наличии пузырей газа в придонной водной толще, т. е. возникновении газовых сипов.

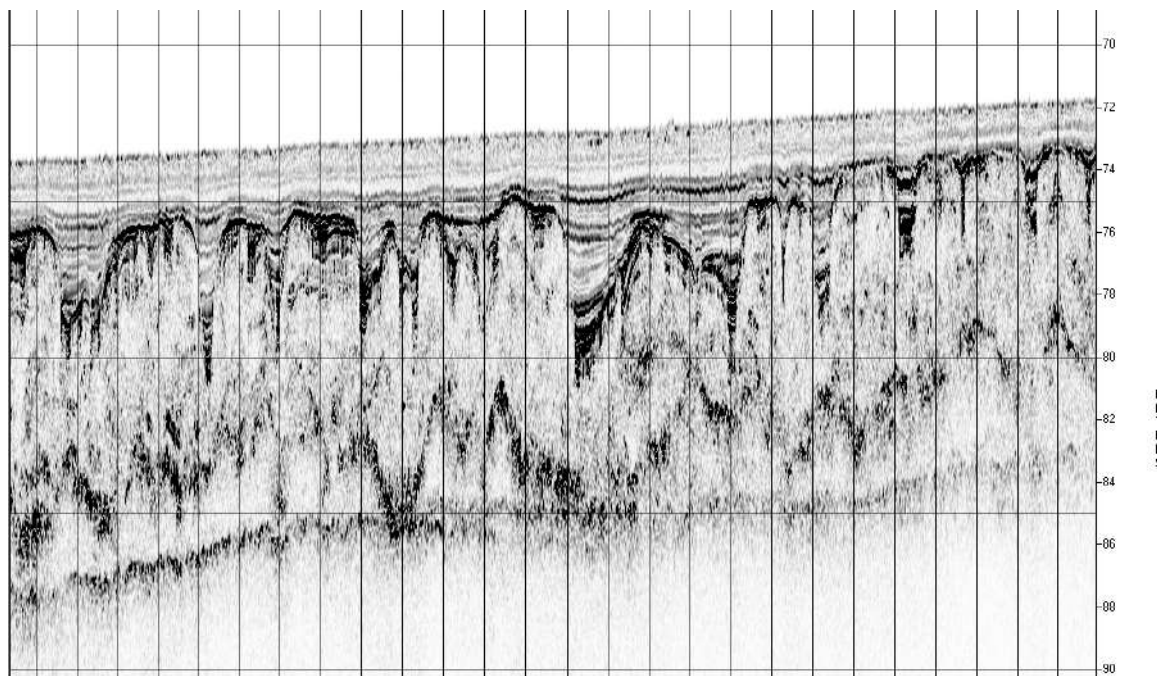


Рис. 5. Эхограмма донных отложений Гданьской впадины. Погребенные борозды айсбергового выпаживания на 4-х горизонтах

Продолжен мониторинг мезомасштабной структуры океанографических полей, направленный на выявление роли различных по своей интенсивности затоков солёной плотной и хорошо аэрированной северо-морской воды при формировании экологических условий в водах, расположенных под перманентным балтийским галоклином. Учитывая особую важность придонного слоя, подверженного стагнации при прекращении затоков, съёмки выполнялись по усовершенствованной методике CTD-зондирований до дна на непрерывном ходу судна. В рейсах была проверена и внедрена новая, более эффективная техника зондирования, разработка которой ведётся в последние годы с учётом задач как российских, так и международных проектов [1]. Получены разрезы вдоль границ ИЭЗ РФ, проходящие через Гданьскую впадину и достигающие южной периферии Готландской впадины, пересекающие при этом седловину Гданьско-Готландского порога с глубинами, близкими к глубинам перманентного галоклина/пикноклина, что затрудняет, но не исключает проникновения солёной гданьской воды в Готландскую впадину. Однако основной объём затока солёной воды поступает в Гданьскую впадину более коротким путем из Слупского желоба, и эта вода является основным источником кислорода для глубинных вод Центральной Балтики. Кроме измерений термохалинной структуры на разрезах, в области предполагаемого расположения затокового русла выполнены прямые измерения придонных течений с помощью экспериментальных инклинометрических измерителей собственной конструкции [2 ; 3], которые подтвердили эпизодические усиления течения на север и его однонаправленный характер.

В ходе непрерывного высокоразрешающего CTD-зондирования в декабре обнаружены свидетельства прекращения перетока придонных солёных вод через Слупский порог. Учитывая отсутствие признаков перетока вод Борнхольмской впадины через порог, а также значительно более высокую солёность (14 PSU) и концентрацию кислорода ($> 4 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$) на дне Слупского желоба, сделан вывод, что возникла

интрузия из Гданьского бассейна в западную часть Слупского желоба. Причиной является создаваемый западными ветрами подъём уровня моря в Юго-Восточной Балтике и результирующее компенсационное течение глубинных вод на запад. Появление гипоксидной воды под галоклином вблизи Слупского порога обнаружено впервые. Отток гипоксидных придонных вод Гданьской впадины в Слупский желоб может ослабить вентиляцию вод Готландской впадины на промежуточных глубинах, что имеет важное экологическое значение для Балтийского моря.

Получен биологический материал для исследования планктона и макрозообентоса. При визуальном наблюдении признаков «цветения» в районе исследования не отмечено. В Готландской впадине, на глубине 101 м, на глинисто-песчаных донных осадках отмечены живые разноразмерные (длина раковины от 1,3 см до 2,5 см) двустворчатые моллюски *Astarte* spp. (BIVALVIA: ASTARTIDAE), что свидетельствует об аэробных условиях на протяжении более года.

Заключение

В ходе выполнения экспедиционных работ получены новые данные об особенностях формирования рельефа дна и донных осадков Балтийского моря, пространственной структуре и динамике вод на всех глубинах, включая придонный слой. Уточнены границы распространения, морфология и строение крупных песчаных тел на плато Рыбачий. В центральной части Гданьской впадины выявлены многочисленные активные газовые кратеры (покмарки). Подтверждено предположение о гидродинамической активности в районе Гданьско-Готландского порога при перетоке придонных вод между Гданьской и Готландской впадинами, и выявлено наличие турбулентности в слое придонного трения. Отмечены аэробные условия в придонном слое на Гданьско-Готландском пороге. Успешно проведены испытания нового, разработанного в Атлантическом отделении ИО РАН экспериментального океанологического оборудования: системы непрерывного CTD-зондирования на ходу судна, автономных инклинометрических измерителей придонных течений, телеуправляемого подводного аппарата.

Исследования выполнялись в рамках госзадания ИО РАН (тема № 0149-2019-0013) и гранта РФФИ № 18-05-80031.

ЛИТЕРАТУРА

1. Best Practices in Monitoring / Beldowski [et al.] // NATO Science for Peace and Security. Series C, Environmental Security / ed. Beldowski [et al.]. Springer Science, 2018, P. 213–238. ISSN 1874-6519. DOI: [10.1007/978-94-024-1153-9_9](https://doi.org/10.1007/978-94-024-1153-9_9).
2. Патент на полезную модель № 193228 Российская Федерация, МПК G01P 5/04 (2006.01). Инклинометрический измеритель скорости и направления придонных течений : № 2019121817 : заявл. 09.07.2019 : опубл. 17.10.2019, Бюл. № 29 / В. Т. Пака, А. А. Кондрашов, М. Р. Ландер, В. Н. Набатов, С. Д. Облеухов, А. П. Подуфалов.
3. Об усовершенствовании инклинометрического измерителя скорости придонных течений / В. Т. Пака, В. П. Набатов, А. А. Кондрашов, А. О. Корж, А. П. Подуфалов, С. Д. Облеухов, М. Н. Голенко, С. А. Щука. // Океанологические исследования. 2019. Т. 47, № 2. С. 220–229. DOI: [10.29006/1564-2291.JOR-2019.47\(2\).13](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2019.47(2).13)

КОМПЛЕКСНЫЕ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В РАЙОНЕ ГЛУБОКОВОДНОГО ПРОХОДА ДИСКАВЕРИ (СЕВЕРО-ВОСТОЧНАЯ АТЛАНТИКА, 43-Й РЕЙС НИС «АКАДЕМИК НИКОЛАЙ СТРАХОВ»)

Е. В. Дорохова*, В. А. Кречик, Е. П. Пономаренко, И. Ю. Дудков

Институт океанологии им П. П. Ширшова РАН

*zhdorokhova@gmail.com

Комплексные океанологические исследования глубоководного прохода Дискавери (Северо-Восточная Атлантика) проводились в 43-м рейсе НИС «Академик Николай Страхов», проходившем с 21 сентября по 9 октября 2019 г. Экспедиционные работы выполнялись в соответствии со следующими темами и проектами: государственные задания Института океанологии им П. П. Ширшова РАН (ИО РАН) № 0149-2019-0013 и № 0149-2019-0009, проект РНФ № 19-17-00246 «Антарктическая донная вода в Северо-Восточной Атлантике: седиментационный эффект и ледниковая цикличность». В рамках соглашения о международном сотрудничестве между Атлантическим отделением Института океанологии РАН (АО ИО РАН) и Университетом Роял Холлоуэй (Лондон) в экспедиции участвовала студентка Роял Холлоуэй. Это позволило заложить основы научного сотрудничества с ведущими иностранными специалистами в области седиментологии. В интерпретации полученных материалов будет принимать участие международная команда учёных.

Исследования проводились в глубоководном проходе Дискавери, расположенном в восточной части Восточно-Азорского трансформного разлома, который является узким каналом, соединяющим котловину Мадейра и Иберийскую котловину. Известно, что каналы и понижения в хребтах, разделяющих отдельные котловины, играют ключевую роль в распространении антарктической донной воды (ААДВ) [1]. Согласно определению ААДВ как воды с $\theta < 2,0$ °С, Восточно-Азорский хребет является северной границей ее распространения в Восточной Атлантике, однако наиболее холодные абиссальные воды со значительной антарктической составляющей попадают в Северо-Восточную Атлантику именно через Восточно-Азорский хребет [2]. Проникновение воды через узкие глубоководные проходы сопровождается увеличением скоростей придонных течений, что способствует формированию эрозионных и аккумулятивных форм рельефа, в том числе контуритовых дрифтов различной морфологии [3].

Цели и задачи

Целью экспедиции являлось изучение распространения ААДВ в Северо-Восточной Атлантике и её роли в формировании четвертичного осадочного чехла. В задачи экспедиции входили также биологические исследования и сбор золотой взвеси по маршруту следования судна.

Методы исследований

Работы проводились на океанологических станциях и геоакустических разрезах (рис. 1). Гидрофизическое зондирование на станциях и отбор проб воды для гидрохимических исследований выполнялись гидрологическим комплексом, включающим CTD-зонд SBE 19plus и систему отбора проб карусельного типа SBE 32. Пробы воды отбирались для изучения концентрации взвешенного вещества в придонном слое, а также для определения содержания кислорода и кремния. На трёх станциях выполнен отбор

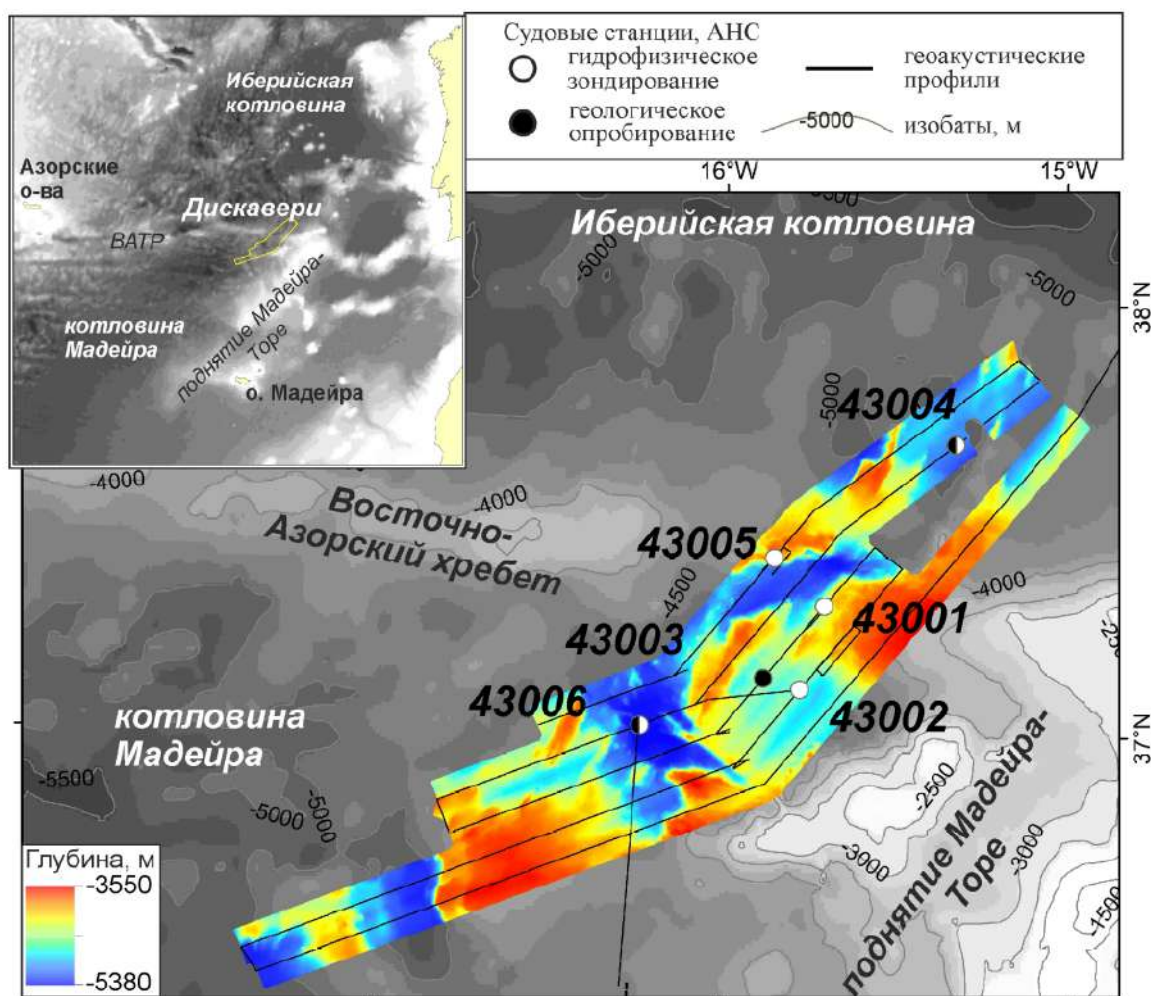


Рис. 1. Положение океанологических станций и геоакустических профилей, выполненных в 43-м рейсе НИС «Академик Николай Страхов». Цветом дана цифровая модель рельефа дна. ВАТР — Восточно-Азорский трансформный разлом

колонок донных осадков гравитационной (ударной) геологической трубкой (диаметр 110 см, длина 6 м). Три отобранные колонки были упакованы и отправлены в Университет Виго (Испания) для литологических и палеоокеанологических исследований. Четвёртая колонка, повторно отобранная на станции АНС-43006, была вскрыта на судне.

На геоакустических профилях выполнялась батиметрическая съёмка многолучевым эхолотом (мультиметром) RESON SeaBat 7150 (частота 12 кГц, 256 лучей) и акустическое профилирование донных осадков профилографом EdgeTech 3300 (частота 2–8 кГц).

Сбор эоловой взвеси для определения концентрации чёрного углерода (сажи) проводился путём прокачки воздуха через кварцевые фильтры. Биологические работы включали визуальные наблюдения за морскими обитателями по ходу следования судна, а также лов морских обитателей на станциях.

Предварительные результаты

Получена цифровая модель рельефа дна глубоководного прохода Дискавери (рис. 1). Согласно модели максимальная глубина впадины на южном входе составила 5474 м, впадины в центральной части прохода — 5335 м, глубина порога между впадинами в центральной части прохода — 4860 м. Проход

Дискавери характеризуется сложным, сильно расчлененным рельефом с многочисленными хребтами, одиночными возвышенностями и впадинами.

Согласно результатам гидрофизического зондирования, на станции АНС-43006, расположенной на южном входе в Дискавери, потенциальная температура $2,0^{\circ}\text{C}$ зафиксирована на глубине 4430 м, тогда как на станции АНС-43004, выполненной в северной части района исследования, — на глубине 4720 м. Это свидетельствует об ограниченном проникновении ААДВ из котловины Мадейра в Иберийскую котловину через проход Дискавери. Кроме того, показано, что в районе исследования верхнюю границу ААДВ следует проводить по изотерме $2,05^{\circ}\text{C}$ и изогалине 34,91 епс, расположенных на глубинах 4400–4700 м, глубже которых распределение значений потенциальной температуры и солёности становится однородным (рис. 2).

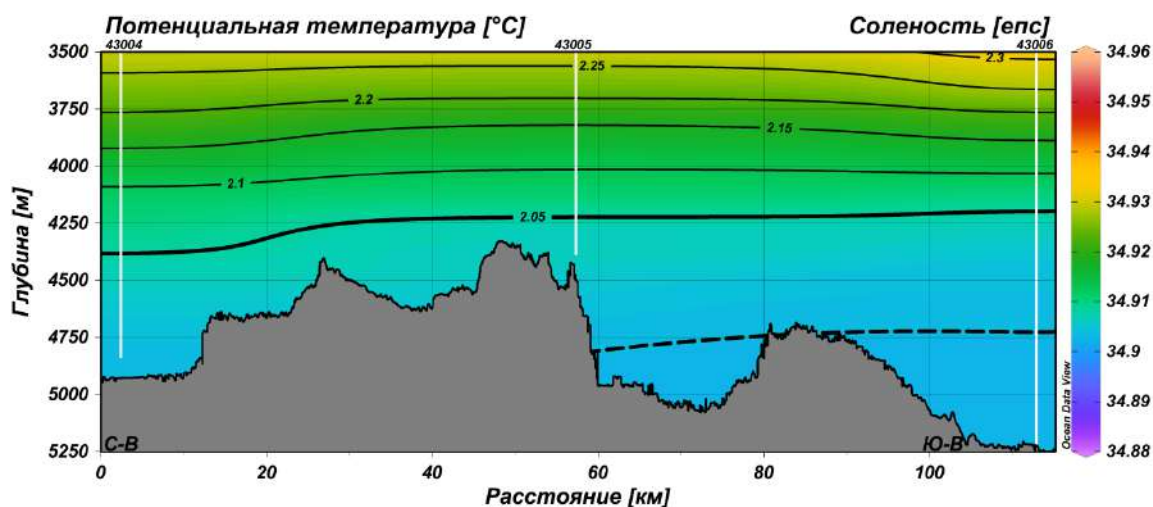


Рис. 2. Распределение потенциальной температуры (линии) и солёности (цвет) в глубоководном проходе Дискавери

По результатам геоакустического профилирования выделено три типа эхофаций. Первый тип соответствует возвышенностям дна с неровными поверхностями и одиночным пикам и представлен записями в виде хаотичных гиперболических волн. Второй тип эхофаций характеризуется чётким верхним рефлексом, отсутствием отражений ниже поверхности дна и соответствует выровненным поверхностям возвышенностей. Третий тип встречается во впадинах, характеризуется проникновением акустического сигнала в осадочную толщу до глубины 40 м и наличием нескольких параллельных рефлексов. Незначительное проникновение акустического сигнала в осадочную толщу свидетельствует о преобладании плотных осадков и низких скоростях осадконакопления.

Совместное использование многолучевого эхолота и акустического профилографа позволило выявить специфические формы рельефа дна. На пороге между впадинами записаны небольшие осадочные тела (рис. 3). Они имеют длину 1,5–2,3 км, ширину 600–700 м, высоту до 100 м и вытянуты в юго-западном — северо-восточном направлении. По данным акустического профилирования, поверхность осадочных тел волнистая, они сложены рыхлыми осадками. Подобные осадочные тела зафиксированы на склоне дрифта Мадейра [4] и, вероятно, представляют собой небольшие контуритовые дрифты, сформированные под воздействием придонного течения ААДВ.

Отобранные колонки донных осадков АНС-43003 (глубина 4737 м) и АНС-4300 (4928 м) представлены светлоокрашенным плотным кокколито-фораминиферовым илом. Колонка АНС-43006, отобранная на глубине 5275 м, вскрыла светло-коричневые алевроитовые глины с примесью фораминиферового

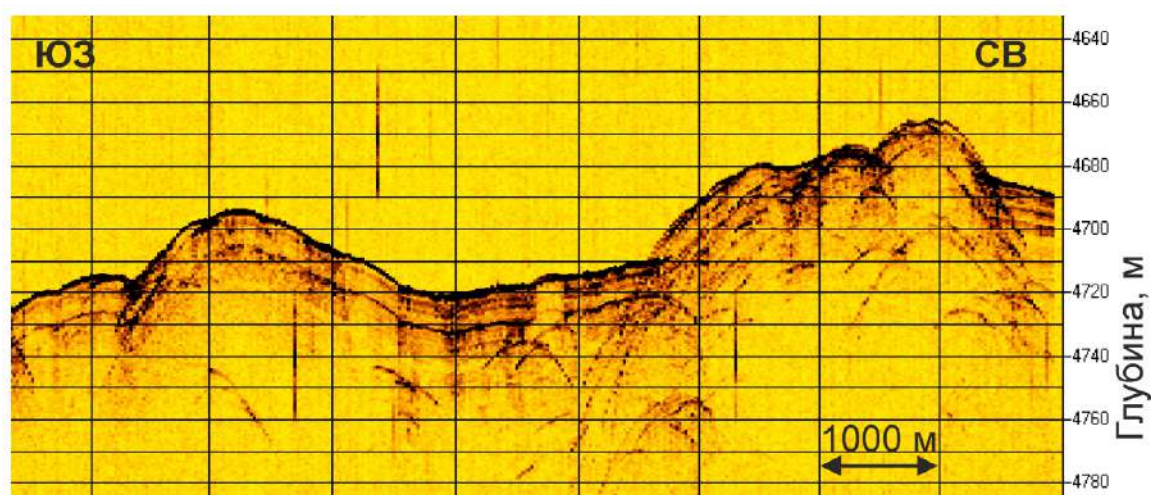


Рис. 3. Запись акустическим профилографом осадочных тел, расположенных на пороге между южной и центральной впадинами Дискавери

песка и множественными следами биотурбации. Согласно предварительным микропалеонтологическим исследованиям, в колонке АНС-43006 отмечено очень сильное растворение раковин фораминифер, что свидетельствует о формировании осадочного разреза ниже критической глубины карбонатакопления. Возраст осадков нижних горизонтов колонки средне- и позднеплейстоценовый.

Заключение

Получены новые данные о рельефе, гидрологическом режиме и особенностях осадконакопления в районе глубоководного прохода Дискавери. Измерены глубины залегания ААДВ, изучено ее влияние на характер распространения донных садков. Отобранные колонки донных осадков позволят изучить процессы четвертичного осадконакопления в районе исследования и их связь с климатическими изменениями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Abyssal Channels in the Atlantic Ocean / Morozov E. G., Demidov A. N., Tarakanov R. Y., Zenk W. Springer Netherlands, 2010. 256 p.
2. Тараканов Р. Ю., Гриценко А. М., Демидова Т. А. Поток антарктической донной воды через проходы в Восточно-Азорском хребте в Восточной Атлантике // Исследовано в России. 2012. С. 292–300.
3. Hernández-Molina F. J., Maldonado A., Stow D. A. V. Abyssal Plain Contourites // Developments in Sedimentology / Rebesco M., Camerlenghi A. 2008. Vol. 60, chap. 18. P. 347–378. DOI: [10.1016/S0070-4571\(08\)10018-8](https://doi.org/10.1016/S0070-4571(08)10018-8)
4. Acoustic evidences of along-slope processes associated with mass movement deposits on the Madeira Island lower slope (Eastern Central Atlantic) / Roque C., Madureira P., Hernández-Molina F. J., Santos de Campos A., Quartau R., Carrara G., Brandão F., Vázquez J. T., Somoza L. // Proceedings of the VII Symposium on the Iberian Atlantic Margin, Malaga, 2015. P. 583–586.

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗОН ТРАНСФОРМНЫХ РАЗЛОМОВ ДОЛДРАМС И ВИМА (ЦЕНТРАЛЬНАЯ АТЛАНТИКА) В 45-М РЕЙСЕ НИС «АКАДЕМИК НИКОЛАЙ СТРАХОВ»

Е. В. Иванова¹, С. Г. Сколотнев², Д. Г. Борисов¹, С. Ю. Соколов², А. А. Пейве², А. Н. Демидов¹, И. Б. Шаховской¹

¹Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН

²Геологический институт РАН

Экспедиция проходила с 25 октября по 1 декабря 2019 г. Начальный пункт маршрута — Миндело (Кабо-Верде), конечный — Тенерифе (Канарские острова, Испания).

Основные задачи экспедиции:

- геолого-геофизические исследования различного типа мегатрансформных межплитных границ в океане — границ в районе мегатрансформа Долдрамс в Центральной Атлантике;
- литолого-палеоокеанологические исследования и определение возраста глубоководных отложений трансформных долин Вима и Долдрамс для изучения влияния придонной циркуляции на осадконакопление, выявления источников латеральной и вертикальной седиментации;
- гидрофизические измерения в глубоководных проходах трансформных разломов Вима и Вернадского, 7°40' с. ш. и Долдрамс для получения новой информации о структуре слоя антарктической донной воды (ААДВ), оценки изменчивости и механизма водообмена между Западной и Восточной Атлантикой; определение изменений характеристик ААДВ в разломах по сравнению с данными экспедиций прошлых лет;
- попутные биологические наблюдения: таксономический состав, географическое распространение, количественное распределение и численность летучих рыб по маршруту экспедиции.

Объем выполненных работ:

- батиметрическая съёмка многолучевым глубоководным эхолотом SeaBat 7150 — 97000 км²;
- общая длина профилей эхолота-профилографа EdgeTech 3300 — 9700 км, съёмка аномального магнитного поля магнитометром — 3400 км;
- общее количество станций заборных научных работ — 55;
- общее количество драгировок — 16 (результативных — 12);
- количество гидрофизических зондирований (зонд Seabird 19plus v. 2) — 18, количество гидрофизических станций — 16;
- получено каменного материала в драгах — 1300 кг;
- получено колонок донных осадков из трубки — 6 (общая длина керна составила около 23 м);
- получено мини-колонок (вырезок) донных осадков из дночерпателя — 7;
- отобрано проб донных осадков на борту из трубок и дночерпателей — 2500;
- количество станций биологического лова — 43;
- количество подсчитанных летучих рыб — 16600, птиц — 377.

В результате экспедиции построены среднемасштабная батиметрическая карта гребневой зоны Срединно-Атлантического хребта между разломами Богданова и Архангельского общей площадью 29000 км², а также части разлома Вима площадью 19000 км². Собранная коллекция горных пород представляет весь разрез океанической литосферы в зоне мегатрансформа Долдрамс. Получены комплексные геолого-геофизические данные в объеме, достаточном для выявления основных закономерностей возникновения и развития мегатрансформа Долдрамс в целом, его тектонического строения, а также состава и процессов формирования океанической литосферы в частности.

Собраны новые данные о специфике латеральной седиментации в трансформных долинах Долдрамс и Вима Срединно-Атлантического хребта. Установлено участие эдафогенного материала местного происхождения в осадочном заполнении тектонически активных отрезков трансформных разломов наряду с преобладающим биогенным известковым и терригенным материалом. Выявлено гораздо более широкое распространение осадочного покрова, представленного терригенными осадками, в трансформной долине Вима по сравнению с долиной трансформного разлома Долдрамс.

Получены уникальные данные, позволяющие уточнить структуру, перенос и изменение характеристик донных вод в изучаемых районах. Зафиксировано проникновение вод с $\theta = 1,9$ °C через канал в мидианном хребте разлома Долдрамс. Установлено, что продолжение разлома 7°40' с. ш. не является препятствием для распространения вод с потенциальной температурой (θ) < 2 °C.

Попутными биологическими наблюдениями установлена более высокая численность летучих рыб и хищников над Срединно-Атлантическим хребтом и около острова Сен-Винсенте по сравнению с остальной частью маршрута.

СТРОЕНИЕ И СОСТАВ ОКЕАНИЧЕСКОГО ДНА В РАЙОНЕ МЕГАТРАНСФОРМА ДОЛДРАМС (ЦЕНТРАЛЬНАЯ АТЛАНТИКА) ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В 45-М РЕЙСЕ НИС «АКАДЕМИК НИКОЛАЙ СТРАХОВ»

С. Г. Сколотнев¹, А. Sanfilippo², А. А. Пейве¹, F. Muccini³, С. Ю. Соколов¹, С. Sani²,
К. О. Добролюбова¹, С. Ferrando⁴, А. Н. Перцев⁵, Н. П. Чамов¹, А. С. Грязнова⁶, К. Н. Шолухов⁵,
А. С. Бич⁷

¹Геологический институт РАН

²Павийский университет, Италия

³Национальный институт геофизики и вулканологии, Италия

⁴Центр петрографических и геохимических исследований, Франция

⁵Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН

⁶Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН

⁷Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана имени академика И. С. Грамберга

В результате комплексных геолого-геофизических работ, проведённых на полигоне Долдрамс, построена среднемасштабная батиметрическая карта гребневой зоны Срединно-Атлантического хребта между разломами Богданова и Архангельского общей площадью 29000 кв. км и собрана коллекция горных пород общим весом около 1300 кг, представляющая весь разрез океанической литосферы в зоне мегатрансформа Долдрамс: базальты, габброиды, перидотиты, плагиограниты. Анализ полученных материалов позволяет установить несколько типов внутритрансформных спрединговых центров, различающихся по высоте гребневой зоны, ширине рифтовой долины, ее внутреннему строению, характеру структур, развитых на плечах рифта, и по времени заложения спредингового центра. Медианные и межразломные хребты, разделяющие трог трансформных разломов, различаются сочетаниями типичных океанических морфоструктур: рифтовых гор, трансверсивных хребтов, конусовидных структур, сложенных породами внутреннего океанического комплекса, и нетипичными для океанского дна сигмоидными грядами. Наряду с характерными для гребневой зоны САХ субмеридиональными и субширотными простираниями структур, перпендикулярными и параллельными соответственно направлению спрединга, в районе широко развиты косые по отношению к ним структуры северо-западного простирания. Установлено широкое проявление магматической активности во всех внутритрансформных рифтах, несмотря на то что они приурочены к мегатрансформу и имеют небольшую протяжённость. Проведённые работы показали, что эксгумация глубинных пород на поверхность дна происходит:

- в зонах заложения детачмента и формирования куполовидных структур,
- при формировании трансверсивных хребтов на бортах разломных долин,
- при росте медианных хребтов в разломных долинах,
- в зонах интерсектов рифт-трансформ в условиях снижения магматической продуктивности и образования высокоамплитудных сбросов.

Дальнейшее изучение позволит установить характер «вдольрифтовых» и «поперекмегатрансформных» вариаций состава базальтов и геохимических мантийных неоднородностей, проанализировать особенности формирования 3-го слоя коры, проследить вариации условий частичного плавления астеносферной мантии во времени, установить основные закономерности структурной эволюции мегатрансформа Долдрамс.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ЭКОСИСТЕМЫ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ В 2019 Г. (39-Й РЕЙС НИС «АКАДЕМИК НИКОЛАЙ СТРАХОВ» И 45-Й РЕЙС «АКАДЕМИК БОРИС ПЕТРОВ»)

М. О. Ульянова^{1*}, А. В. Крек¹, Е. В. Крек¹, А. Р. Данченков¹, В. А. Кречик¹, Е. Е. Ежова¹,
Ю. Ю. Полунина¹, Е. К. Ланге¹, Д. В. Рябчук²

¹Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН

²Всероссийский геологический институт им. А. П. Карпинского

*marioches@mail.ru

39-й рейс НИС «Академик Николай Страхов» проводился с 11 по 20 мая 2019 г. (продолжительность рейса — 10 суток, российские сектора Финского залива и юго-восточной части Балтийского моря), 45-й рейс НИС «Академик Борис Петров» проводился с 13 по 22 июля 2019 г. (продолжительность рейса — 10 суток, российский сектор юго-восточной части Балтийского моря). Оба рейса проводились согласно графику загрузки научно-исследовательских судов неограниченного района плавания организаций, подведомственных Минобрнауки России на 2019 год. Комплексные экспедиционные исследования выполнялись по теме госзадания № 0149-2019-0013 «Морские природные системы Балтийского моря и Атлантического океана: формирование природных комплексов Балтийского моря и их изменение под влиянием Атлантического океана и антропогенного воздействия». Кроме того, было привлечено внебюджетное финансирование: проект РФФИ № 19-05-00717 «Ядро ХПС Балтики: проверка гипотез формирования»; договор между Институтом океанологии имени П. П. Ширшова РАН (ИО РАН) и Всероссийским геологическим институтом им. А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ) по теме «Исследование донных осадков Финского залива Балтийского моря в 2019 г.»; международный проект «Комплексное управление морским культурным наследием региона Балтийского моря» (BalticRim) в рамках программы «ИНТЕРРЕГ. Регион Балтийского моря»; проект РФФИ № 18-05-80031 «Формирование и воздействия на морскую экосистему опасных явлений, обусловленных химическим оружием, затопленным в Балтийском море после Второй мировой войны»; договор о совместной научной деятельности между ИО РАН и Атлантическим филиалом Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (АтлантВНИРО).

Цель экспедиций — получение натурных данных для комплексного изучения природных комплексов Балтийского моря в условиях усиливающейся антропогенной нагрузки и изменения климата с учётом влияния Атлантического океана. Основные задачи экспедиции:

- профилирование структуры гидрофизических полей на непрерывных разрезах с использованием мультипараметрических зондов;
- отбор проб воды, донных отложений, биологических проб в рамках мультидисциплинарного мониторинга морской экосистемы;
- многолучевая батиметрическая съёмка, гидролокация бокового обзора и акустическое профилирование дна на ключевых участках российских секторов юго-восточной части Балтийского моря и Финского залива.

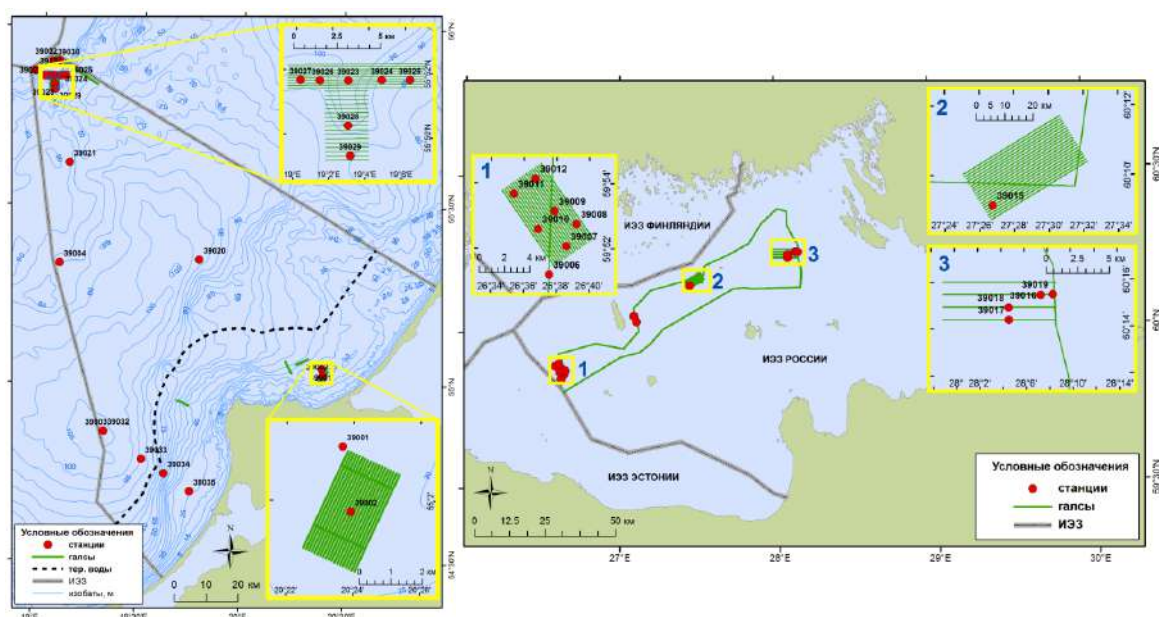


Рис. 1. Схема работ в 39-м рейсе НИС «Академик Николай Страхов» в российском секторе Юго-Восточной Балтики (слева) и Финского залива (справа)

Объем выполненных работ, материалы, методы

В 39-м рейсе НИС «Академик Николай Страхов» заборные работы были выполнены на 35 станциях (включая 11 комплексных) и 5 геофизических полигонах (рис. 1).

В 45-м рейсе НИС «Академик Борис Петров» заборные работы были выполнены на 87 станциях (включая 11 комплексных) и 1 геофизическом полигоне (рис. 2). Кроме того, были выполнены постановка и подъем донных измерителей течений.

Работы проводились на судовых станциях, непрерывных гидрофизических профилях и геоакустических полигонах.

В состав работ входили:

- съёмка дна судовым многолучевым эхолотом SeaBat 8111 фирмы RESON для глубин до 300 м;
- геоакустическое профилирование с помощью судового геоакустического комплекса EdgeTech 3300-NM — эхолота-профилографа высокого разрешения;
- вертикальное зондирование на станциях и на ходу судна многоканальными гидрофизическими зондами Sea&Sun Tech CTD90 и Idronaut Ocean 316;
- отбор проб морской воды батометрами с различных горизонтов для гидрохимических и гидробиологических исследований;
- отбор проб донных осадков с помощью дночерпателя Ван-Вина, герметичной грунтовой трубки конструкции Лаури Ниёмисто и ударной геологической трубки большого диаметра;
- отбор проб зоо- и ихтиопланктона с помощью планктонных сетей.

Предварительные результаты

Юго-Восточная Балтика

По результатам многолучевого эхолотирования Гданьско-Готландского порога детально закартирован рельеф. В результате отбора проб и геологического описания верхнего слоя донных осадков обна-

ружена эрозионная поверхность, свидетельствующая о существовании либо периодическом появлении достаточно сильных придонных течений. На дне эрозионной долины на Гданьско-Готландском пороге были обнаружены глины бежевого цвета с красноватым оттенком. Алеврито-пелитовые осадки в редких случаях (в двух пробах) отмечены только в экзарационных бороздах.

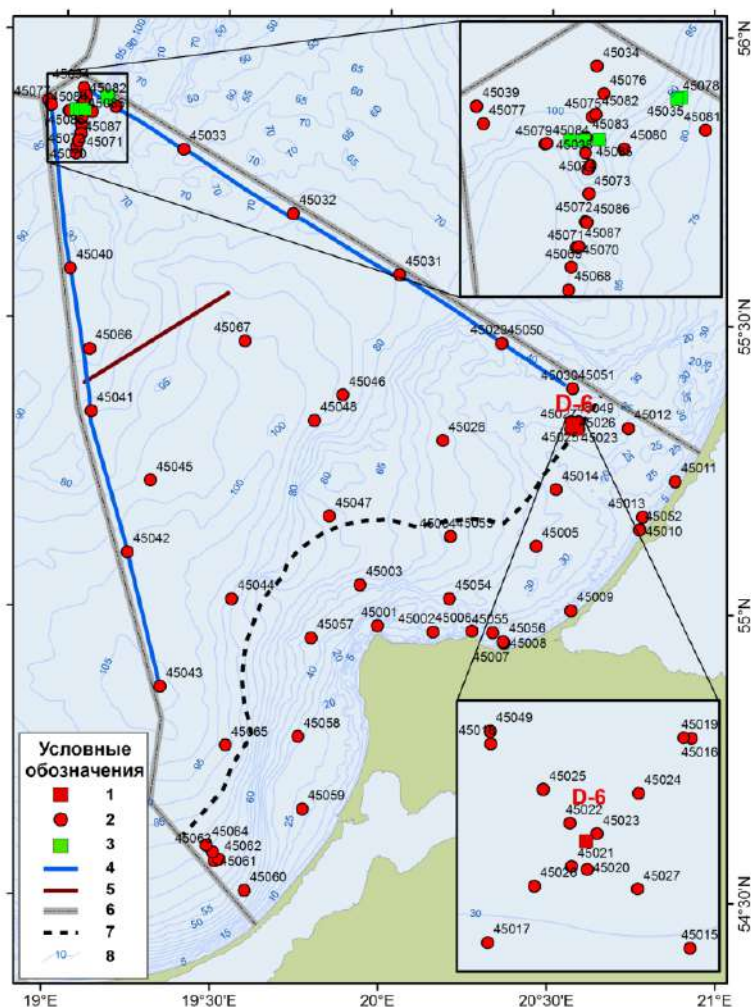


Рис. 2. Схема работ в 45-м рейсе НИС «Академик Борис Петров». Условные обозначения: 1 — нефтедобывающая платформа; 2 — океанологические станции; 3 — точки постановки инклинометрических датчиков; 4 — непрерывные гидрофизические разрезы; 5 — геоакустический профиль; 6 — граница российского сектора; 7 — территориальные воды; 8 — изобаты, м

Гидрологические исследования на Гданьско-Готландском пороге в мае выявили нетипичную для данного района в беззатокный период вертикальную структуру распределения растворённого кислорода на склоне подводного каньона. Максимальные значения наблюдались в придонном слое срединной части каньона, что свидетельствует об активном водообмене между суббассейнами Балтики в данном районе. В июле по результатам экспериментальных измерений течений в эрозионной долине на Гданьско-Готландском пороге было обнаружено придонное пульсирующее течение.

В июле в придонном слое Гданьской впадины обнаружены условия гипоксии, вплоть до анокии. Концентрация растворённого кислорода с горизонта 70 м была менее $2 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$, растворённого сероводоро-

да — 0,15–0,31 мг·л⁻¹. По результатам непрерывного гидрофизического профилирования в центральной части Гданьской впадины был отмечен циклонический вихрь, по глубине достигающий галоклина.

По результатам многолучевого эхолотирования на мелководье (глубины до 30 м) оконтурена юго-восточная часть крупного песчаного аккумулятивного тела. В результате профилирования была оценена мощность песчаных отложений, составляющая около 3 м. Предварительный анализ колонок илов покмарка показал смену окислительно-восстановительных условий в Гданьской впадине. Наличие раковин моллюсков в колонке и последовательное изменение цвета осадка говорит об изменениях гидрологического режима придонного слоя моря.

Концентрации фосфатов в эвфотическом слое (0,19–0,71 мкг·ат·л⁻¹) в июле были выше значений, лимитирующих рост фитопланктона в Балтийском море (0,15 мкг·ат·л⁻¹), что позволяло диазотрофным цианобактериям интенсивно развиваться.

Концентрации хлорофилла *a* в фотическом слое соответствовали мезотрофному уровню (0,8–4,0 мкг·дм⁻³) согласно классификации трофического статуса вод Балтийского моря. Характерной чертой летней ситуации 2019 г. была резко выраженная неоднородность распределения первичной продукции и ассимиляционных чисел в поверхностном слое: от значений, соответствующих средне-голетнему уровню (вблизи мыса Таран и Куршской косы), до относительно низких для летнего периода величин (Гданьский залив, северо-восточный склон Самбийско-Куршской возвышенности и район мыса Гвардейский).

Продуктивность фитопланктона в Юго-Восточной Балтике (ЮВБ) в мае была низкой. Общая численность фитопланктона составила 0,62 млн кл·л⁻¹, биомасса — 0,09 г·м⁻³. По численности преобладали цианобактерии за счёт вегетации мелкоклеточных хроококковых (86 % общего показателя). Биомассу фитопланктона формировали динофитовые (58 %, доминант — *Dinophysis norvegica*), диатомовые (25,4 %, *Coscinodiscus* spp.) и зеленые празиофитовые (11 %, *Pyramimonas* spp.). Биомасса фитопланктона соответствовала минимальным величинам 0,06–0,09 г·м⁻³, отмеченным в мае 2003 и 2012 гг. В июле в глубоководной части Юго-Восточной Балтики отмечены типичные летние доминанты: цианобактерии, динофитовые, криптофитовые. Уровень развития фитопланктона в июле по биомассе водорослей соответствовал мезотрофному состоянию вод (0,5–2,0 г·дм⁻³).

Зоопланктон в ЮВБ в мае был представлен типичными весенними видами, без летних форм. Свыше 50 % от численности и биомассы составляли коловратки рода *Synchaeta*, что характерно для ранневесеннего периода. Общая численность зоопланктона в столбе воды составляла 105–173 тыс. экз·м⁻³, биомасса 668–877 мг·м⁻³. В июле численность зоопланктона составила 23,6–62,3 тыс. экз·м⁻³, биомасса 180–517 мг·м⁻³, эти показатели были ниже отмеченных нами в мае 2019 г. и в целом ниже обычных летних значений.

В мае отмечено 3 вида ихтиопланктона, представленного икринками шпрота *Sprattus sprattus balticus*, трески *Gadus morhua callarias*, речной камбалы *Platichthys flesus*, а также личинками шпрота и речной камбалы. В июле отмечено 6 видов ихтиопланктона.

Состояние зообентоса на дне Гданьской впадины в мае 2019 г. отличалось от такового в предыдущие годы. Крайне редким фактом является обнаружение 5 видов бентоса (*Hydrobia* sp., ювенилы *Mya arenaria*, *Marenzelleria* spp., олигохеты, нематоды), достаточно устойчивых к низкому содержанию кислорода и тем не менее являющихся индикаторами аэробных условий весной 2019 г. на глубинах более 100 м. Бентос присутствовал здесь в крайне низких количествах (35 экз·м⁻², и 0,07 г·м⁻²), не обеспечивающих формирование нормально функционирующего сообщества. В районе Гданьско-Готландского порога, вблизи южного склона Готландской впадины (100–110 м), в мае отмечено сообщество с доминированием *Astarte elliptica* (7 видов, 287 экз·м⁻², 32,3 г·м⁻²).

В июле 2019 г. в центральной части Гданьской впадины (глубины 100 м и более) и на ее северном склоне (80 м) макрофауна отсутствовала. В то же время на южном склоне Готландской впадины (100–110 м) отмечено примерно такое же состояние донных сообществ, что и весной.

Финский залив

Пополнен массив батиметрических и сейсмоакустических данных, выполнено донное поверхностное опробование для определения литологического состава донных отложений, отобраны пробы на зообентос. На станциях, выбранных по результатам анализа профилей непрерывного сейсмоакустического профилирования (НСП), отобраны керны донных отложений для последующих седиментологических исследований высокого разрешения с целью реконструкции условий осадконакопления в пределах впадины Финского залива в позднем неоплейстоцене — голоцене.

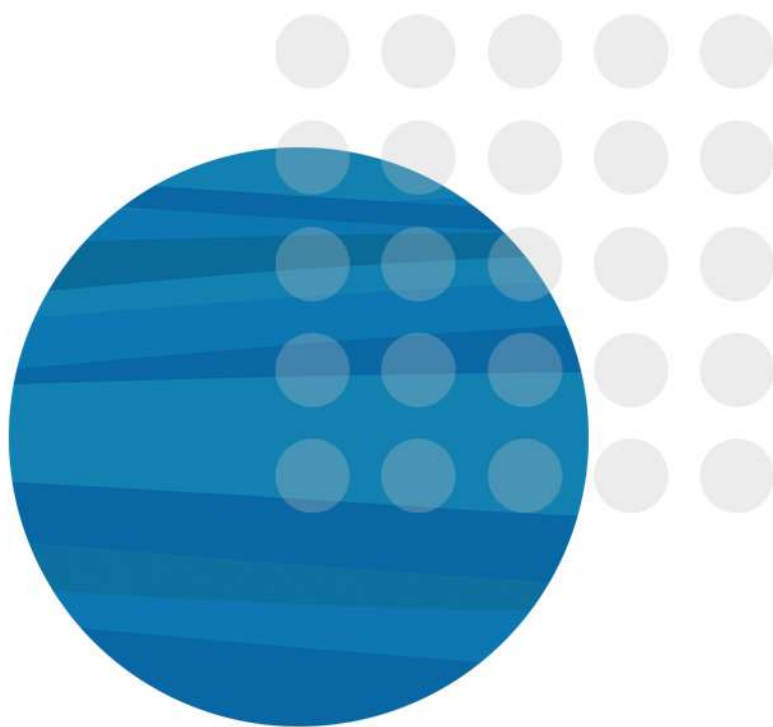
По данным предварительного анализа результатов многолучевого эхолотирования и НСП в пределах полигона в районе о. Виргин гипотетически выделены образования краевой зоны дегляциации. На профилях НСП выделен перекрывающий типичные отложения Балтийского ледникового озера специфический сейсмоакустический комплекс, генезис которого не очевиден. Выделение и латеральное прослеживание комплекса представляет большой интерес с точки зрения уточнения концепции палеогеографического развития региона.

На полигоне в районе о. Виргин отобраны пробы на зообентос, характеризующие участки дна с различным набором абиотических характеристик (глубина, морфология дна, состав донных отложений), что позволит провести статистический анализ биологических и геолого-геоморфологических данных и построить карту донных ландшафтов.

На полигоне около о. Соммерс в ходе акустических исследований были о контурены ареалы распространения газонасыщенных илов и свойственных им отрицательных форм рельефа.

В Финском заливе, на глубинах свыше 50 м, в илах с запахом сероводорода макробентос отсутствовал, в то время как на песчано-галечных, глинистых грунтах и грунтах с железно-марганцевыми конкрециями ($10\text{--}11\text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}$) на 30-метровых глубинах развиты упрощенные по структуре, но количественно богатые сообщества с доминированием червей *Marenzelleria* spp., нематод и равноногого рака *Saduria entomon* ($2147\text{ экз.}\cdot\text{м}^{-2}$, $94,0\text{ г}\cdot\text{м}^{-2}$). Ихтиопланктон на станциях в Финском заливе в мае не обнаружен.

«Плавучие университеты»



ШЕСТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ «БАЙКАЛЬСКОГО ПЛАВУЧЕГО УНИВЕРСИТЕТА «CLASS@BAIKAL — 2019»: НОВЫЕ ДАННЫЕ О ФЛЮИДРАЗГРУЗКЕ НА ДНЕ БАЙКАЛА

Г. Г. Ахманов¹, О. М. Хлыстов² и участники проекта Class@Baikal

¹Учебно-научный центр ЮНЕСКО — МГУ по морской геологии и геофизике при геологическом факультете, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова

²Лимнологический институт СО РАН

Шестая Международная экспедиция проекта Class@Baikal состоялась в период с 23 июня по 9 июля 2019 года. Целью экспедиции стала акватория озера Байкал. Традиционно базой «Байкальского плавучего университета» стало научно-исследовательское судно «Г. Ю. Верещагин», шестой год подряд радушно принимавшее на своём борту участников этого уникального проекта (<http://class-baikal.ru/>). В экспедиции приняли участие студенты, преподаватели и учёные Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, учёные из Лимнологического института СО РАН, Университета Осло (Норвегия), Казанского (Приволжского) федерального университета и Института нефти и газа Национальной академии наук Азербайджана. Те, кто не первый раз принимал участие в проекте Class@Baikal, продолжили научные исследования уникальных геологических процессов, происходящих на дне озера. Новые участники по принципу «обучение через исследование» ознакомились со всеми этапами и методами работ в научной геолого-геофизической экспедиции.

В ходе экспедиционных работ «Class@Baikal — 2019» изучались несколько районов, располагающихся в южной и центральной котловинах озера Байкал (рис. 1). Выполнено 714 км акустического профилирования, 122 станции донного пробоотбора ударными трубками, отобрана и проанализирована на борту 781 проба газа из донных отложений. Главные научные задачи экспедиции были связаны с изучением различных проявлений флюидоразгрузки на дне Байкала.

Полигон разлома Гидратный

В 2002 году в ходе батиметрической съёмки дна озера Байкал в рамках совместного российско-бельгийского проекта ИНТАС была обнаружена выраженная в рельефе дна ступень, несомненно, тектонического происхождения [14], прослеживающаяся от мыса Ухан на острове Ольхон в юго-западном направлении более чем на 40 км. На севере разлом образует тектонический уступ до 80 м высотой, на юге разлом не выходит на поверхность и, вероятно, погребён под толщей современных илов. Вдоль разлома расположены зоны современной фокусированной разгрузки углеводородов: грязевые вулканы «Новосибирск», «Санкт-Петербург» и «Ухан», а также структура «МГУ», открытая в ходе пятой экспедиции «Class@Baikal — 2018» [7]. Во всех этих структурах были обнаружены газовые гидраты, в связи с чем разлом получил название «Гидратный» [12]. В рамках шестой экспедиции проекта Class@Baikal выполнен ряд сейсмоакустических профилей, секущих разлом, с целью уточнения морфологии уступа. Вдоль этих же профилей выполнено геохимическое опробование донных илов для оценки потока глубинного флюида по разломной зоне. В результате обнаружено множество небольших разрывных нарушений сбросового типа, которые оперяют основной разлом Гидратный. Большинство из них расположено на опущенном крыле. Построенная тектоническая схема сравнивалась с распространением структур

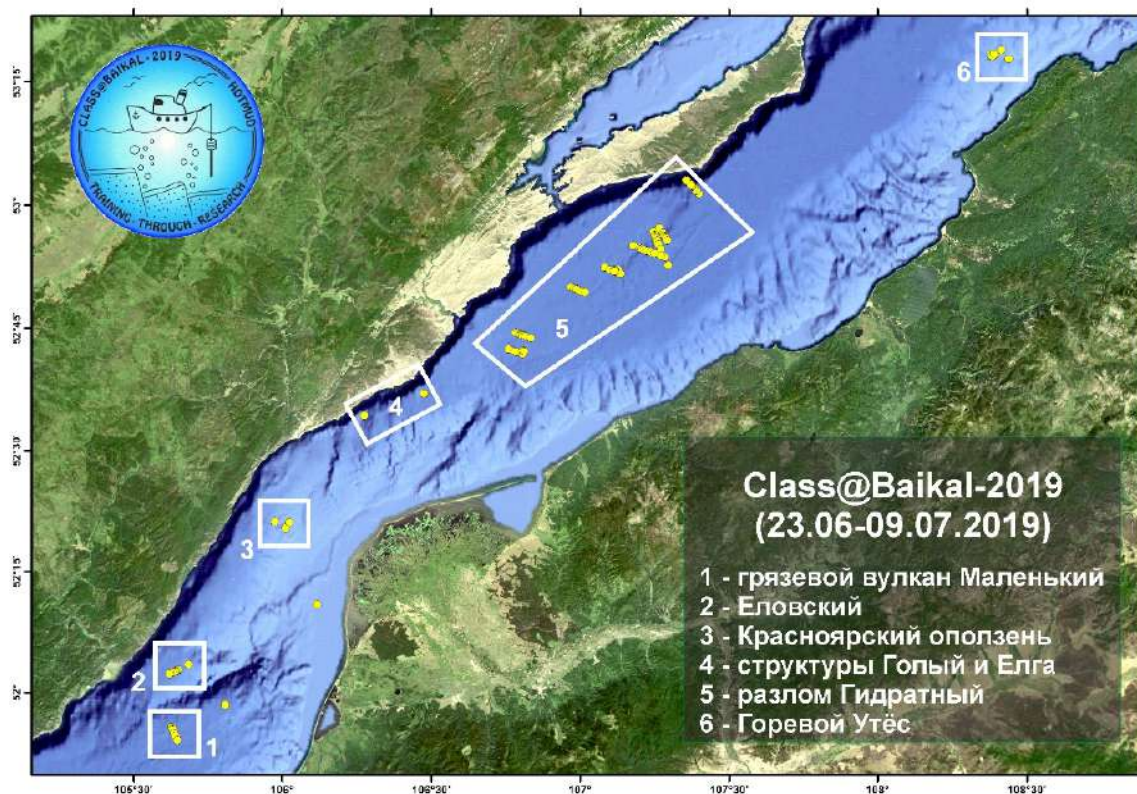


Рис. 1. Основные районы работ экспедиции «Class@Baikal — 2019» и положение точек донного пробоотбора

фокусированной флюидоразгрузки и их основными характеристиками. Все активные в настоящее время структуры расположены в северо-восточном сегменте разлома Гидратный. Вероятно, по разломным зонам в менее тектонически активном юго-западном сегменте также происходит миграция углеводородных газов. Однако поток флюидов рассеивается при прохождении через перекрывающую толщу ненарушенных отложений, достигая поверхности дна с существенно меньшей интенсивностью, не формируя выраженных структур разгрузки и придонных скоплений газовых гидратов. Это подтверждают данные геохимических исследований порового газа в донных осадках. Установлено, что на структурах, расположенных в северо-восточной части разлома Гидратный, наблюдаются более высокие концентрации метана в осадках ($150\text{--}200\text{ мл}\cdot\text{л}^{-1}$), в то время как в юго-западной части разлома концентрации метана в осадках ниже ($100\text{--}120\text{ мл}\cdot\text{л}^{-1}$), хотя также довольно высокие. Изотопный состав углерода метана варьирует от -57‰ до -72‰ , указывая на определённый вклад термогенного газа, особенно в северо-восточном сегменте. В целом разлом Гидратный, вероятно, характеризуется высокой проводимостью, и вдоль него происходит активная миграция углеводородных флюидов из глубин осадочного разреза к поверхности.

Полигон грязевого вулкана Маленький

Структура Маленький была обнаружена на сейсмических профилях в ходе геофизических работ 1989–1992 гг., а также детальной съемки 1999 г. [13]. Именно на структуре Маленький в марте 2000 г. были отобраны первые образцы приповерхностных газовых гидратов озера Байкал. В кернах донных осадков часто попадались комочки плотной глины, что дало основания отнести данную структуру к гря-

зевулканическому типу. Грязевой вулкан Маленький приурочен к хорошо выраженному в рельефе дна протяжённому тектоническому уступу. В ходе экспедиции «Class@Baikal — 2019» проведены комплексные геолого-геофизические и геохимические исследования, направленные на уточнение положения тектонического разлома, к которому приурочен грязевой вулкан Маленький, и особенностей режима газоразгрузки в пределах структуры.

Полигон Еловский

Полигон Еловский расположен в северной части южной котловины озера Байкал. В 2007–2008 гг. в ходе проведения сейсмоакустических исследований с помощью профилографа (Лимнологический институт СО РАН) на полигоне были обнаружены положительно выраженные в рельефе структуры, аналогов которых ранее в акватории озера Байкал не встречали. В ходе второй международной экспедиции проекта, «Class@Baikal — 2015», в данной акватории были проведены комплексные геолого-геофизические работы, включавшие в себя сейсмоакустическое профилирование с помощью набортного профилографа и отбор проб донного осадка с помощью ударной трубки. По данным профилографа, объекты выделяются по малоамплитудному параболическому отражению над границей дна и вертикальным зонам потери корреляции непосредственно под параболическим отражением и представляют собой положительные формы шириной 200–300 метров и высотой от 10 до 25 метров [4 ; 9]. Отобранный керн в пределах структур представлял собой в основном чередование интервалов глинисто-диатомового ила, глинистого ила и алевро-глинистого ила, типичное для современных донных отложений озера. Только на одной станции был вскрыт нетипичный, «аномальный» разрез, сложенный очень плотной, сухой алевролитистой глиной в верхней части, подстилаемой переслаиванием глинистых и алевро-глинистых плотных илов [9]. В экспедиции «Class@Baikal — 2018» были проведены сейсмоакустические исследования на более низких частотах, которые показали наличие погребённого тела гравитационной природы. Все обнаруженные на дне структуры пространственно приурочены к области распространения линзовидного тела, в связи с чем можно предполагать и их генетическую взаимосвязь [3]. Природа обнаруженных положительных структур на дне, в глубоководной части озера Байкал, загадочна. В рамках экспедиции «Class@Baikal — 2019» проведены дополнительные исследования с профилографом, а также детальный донный пробоотбор по профилю, пересекающему структуры.

Район нефтепроявлений Горевой Утёс

Выходы нефти и газа и сопровождающие их приповерхностные скопления газовых гидратов на дне озера Байкал, на траверсе мыса Горевой Утёс, — современная, активная зона субаквальной разгрузки углеводородов [5 ; 6 ; 10]. Объект уникален тем, что в пределах единого, ограниченного по размерам поля регистрируются выходы и газов, и жидких углеводородов, а также формируются газовые гидраты. Поле активных сипов в диаметре около 500 м располагается на склоне, в интервале глубин 850–950 м. В экспедиции «Class@Baikal — 2018» выполнено два сейсмоакустических профиля высокого разрешения, пересекающих зону флюидоразгрузки в перпендикулярных направлениях и сопровождающихся донным опробованием вдоль этих двух профилей с отбором образцов илов, поровых вод, газа и битуминоидов осадков [2]. В экспедиции «Class@Baikal — 2019» изучение района Горевой Утёс продолжилось, выполнено дополнительное акустическое профилирование и отбор донных проб при помощи ударных трубок. Установлено, что в общем случае самые верхние интервалы разреза, представленные в основном диатомовыми илами, характеризуются минимальными концентрациями углеводородных газов (метана менее 10 мл·л⁻¹); с глубиной по разрезу газонасыщение осадка увеличивается экспоненциаль-

но; в центральной зоне полигона Горевой Утёс, характеризующейся наиболее интенсивной разгрузкой жидких и газообразных флюидов, концентрации метана в осадках достигают первых сотен мл·л⁻¹.

Район оползня «Красноярский»

Субаквальный оползень, названный впоследствии «Красноярский», был обнаружен в 2009 году у подошвы склона авандельты реки Селенги по результатам батиметрической съёмки многолучевым эхолотом в рамках исследований по программе РАН 17.8 (2009) и проекту FWO Flanders (1.5.198.09). Систематическое изучение оползня началось в 2015 году [9] и осуществляется уже в течение нескольких лет в рамках проекта Class@Baikal [1]. Оползень «Красноярский» локализован на глубинах от 350 до более чем 700 метров и хорошо выражен в рельефе дна. Он в плане имеет форму трапеции, по трём сторонам которой на геофизических профилях фиксируются стенки отрыва. В контурах, обозначенных стенками отрыва, оползневые массы занимают площадь около 10 кв. км. Верхняя стенка отрыва протягивается вдоль изобаты 350 метров. Высота стенок отрыва достигает первых метров. Поверхность скольжения, наиболее ярко выраженная на геофизических профилях, уходит от дна на глубину до 30 метров. Отмечаются признаки вторичных мелких оползаний внутри главного оползневого тела. Отложения, отобранные ударными трубками на оползне «Красноярский», характеризуются текстурами оползания. В разрезе некоторых станций отсутствует типичный голоценовый интервал глинисто-диатомового ила в верхней части разреза, что может свидетельствовать о современной активности оползневых процессов [11]. У подножья оползня «Красноярский», на глубинах от 730 до 780 м, располагается активная зона фокусированной флюидоразгрузки — сип «Красный Яр» [8]. Такое соседство позволило уже на раннем этапе изучения оползня «Красноярский» выдвинуть предположение о том, что нестабильность склоновых накоплений связана с их повышенным газонасыщением, чему находятся подтверждения [9]. Изучение оползня и причин нестабильности склона продолжилось в экспедиции «Class@Baikal — 2019». На полигоне оползня «Красноярский» выполнен дополнительный пробоотбор цельных кернов для дальнейшего исследования в лаборатории Института геоэкологии РАН методом одноосного сдвига со скашиванием и сопутным измерением порового давления.

Структуры «Голый» и «Елга»

Отдельностоящие диапироподобные структуры Голый и Елга хорошо выражены в рельефе дна и расположены на самом юго-западном окончании центральной котловины Байкала, на фланге Селенгинско-Бугульдейской перемычки и у её подножья. Эти структуры чрезвычайно слабо изучены, их природа неясна по настоящее время. В экспедиции «Class@Baikal — 2019» через них были проложены геофизические профили, а затем с вершин и у подножий отобраны пробы донных отложений и газов для дальнейшего изучения.

Следуя традициям «образования через исследования», собранный в ходе экспедиции материал обрабатывается силами участвовавших в экспедиции студентов под руководством учёных и преподавателей из вузов и институтов России и Европы. Обработанный материал ляжет в основу докладов на международных и национальных научных форумах, статей в научных журналах, бакалаврских и магистерских диссертаций, кандидатских работ. Полученные геологические, геохимические и геофизические данные дополняют представления о современных процессах (осадконакопление, генерация углеводородов, формирование гидратонности отложений, зарождение и работа грязевых вулканов, рассеянная и фокусирующая дегазация донных осадков, оползание склонов и т. д.), формирующих «геологический облик» уникального озера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аутигенная минерализация в зонах фокусированной разгрузки углеводородов озера Байкал / Кудаев А. А., Корост Д. В., Ахманов Г. Г., Хлыстов О. М. Текст : электронный // Комплексные исследования Мирового океана : материалы II Всерос. науч. конф. молодых ученых, г. Москва, 10–14 апр. 2017 г. М., 2017. С. 478–479.
2. Ахманов Г. Г., Хлыстов О. М. «Обучение-через-исследования» на Байкале: развивая традиции Плавающего университета ЮНЕСКО — МГУ // Итоги экспедиционных исследований в 2018 году в Мировом океане, внутренних водах и на архипелаге Шпицберген : материалы конф. / Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского РАН. Севастополь, 2019. С. 224–229.
3. Буланова И. А., Соловьева М. А. Диапироподобные структуры района Еловский (оз. Байкал): возможный механизм образования. Текст : электронный // Материалы Международного молодежного научного форума «Ломоносов — 2019» / отв. ред.: И. А. Алешковский, А. В. Андриянов, Е. А. Антипов. М., 2019.
4. Буланова И. А., Соловьева М. А., Ахманов Г. Г. Предварительные результаты геолого-геофизических исследований полигона Еловский (озеро Байкал). Текст : электронный // Материалы Международного молодежного научного форума «Ломоносов — 2018» / отв. ред.: И. А. Алешковский, А. В. Андриянов, Е. А. Антипов. М., 2018.
5. Нефтегазоносность отложений озера Байкал / Конторович А. Э., Каширцев В. А., Москвин В. И. [и др.] // Геология и геофизика. 2007. Т. 48, № 12. С. 1346–1356.
6. Нефть в озере Мирового наследия / Хлыстов О. М., Горшков А. Г., Егоров А. В. [и др.] // Доклады академии наук. 2007. Т. 414, № 5. С. 656–659.
7. Открытие новой гидратоносной структуры на дне озера Байкал / Ахманов Г. Г., Хлыстов О. М., Соловьева М. А. [и др.] // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4, Геология. 2018. № 5. С. 111–116. DOI: [10.33623/0579-9406-2018-5-111-116](https://doi.org/10.33623/0579-9406-2018-5-111-116)
8. Оценка ресурсов газовых гидратов геофизическими методами в зоне подводной разгрузки газа на сипе «Красный Яр» озера Байкал / Хабуев А. В., Ченский Д. А., Соловьева М. А. [и др.] // Известия Сибирского отделения РАН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2016. № 1 (54). С. 67–74.
9. Проект Glass@Baikal: развивая традиции Международной программы «Обучение через исследования (Плавающий университет)» / Ахманов Г. Г., Хлыстов О. М. [и участники TTR-Class@Baikal — 2015] // Труды IV Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU)». М., 2015. С. 29–33.
10. Терпаны нефтей озера Байкал / Каширцев В. А., Конторович А. Э., Москвин В. И. [и др.] // Нефтехимия. 2006. Т. 46, № 4. С. 1–9.
11. Характеристика донных грунтов в зонах фокусированной разгрузки углеводородов озера Байкал / Кудаев А. А., Ахманов Г. Г., Хлыстов О. М., Корост Д. В. // Материалы докладов XIII Общероссийской научно-практической конференции и выставки «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации». М., 2017. С. 636–639.

12. Хлыстов О. М. Гидратоносность и тектоника средней котловины озера Байкал // Труды VII Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU — 2018)». Тверь, 2019. Т. II (IV). С. 41–42.
13. Хлыстов О. М., Де Батист М. Геолого-геофизическая характеристика района газовых гидратов оз. Байкал // Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований : сб. избр. тр. науч.-техн. конф. / М-во образования РФ, Иркут. гос. техн. ун-т. Иркутск, 2001. Ч. 2. С. 55–61.
14. The INTAS Project 99-1669 Team, 2002. A new bathymetric map of Lake Baikal / De Batist M., Canals M., Sherstyankin P., Alekseev S. Текст : электронный. URL: <http://www.lin.irk.ru/intas/index.htm> (дата обращения: 01.02.2020).

РЕЗУЛЬТАТЫ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РГГМУ В БАРЕНЦЕВОМ, КАРСКОМ И БЕЛОМ МОРЯХ В 2019 Г. В РАМКАХ ПРОГРАММЫ «АРКТИЧЕСКИЙ ПЛАВУЧИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А. А. Ершова, Т. Р. Ерёмина, Н. С. Фролова, О. В. Тенилова

Российский государственный гидрометеорологический университет

Сотрудники и студенты Российского государственного гидрометеорологического университета (РГГМУ) в 2019 году приняли участие в третьем этапе экспедиции программы «Трансарктика — 2019» на НИС «Профессор Молчанов», которая была организована Северным управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды совместно с Арктическим и антарктическим научно-исследовательским институтом, Северным (Арктическим) федеральным университетом им. М. В. Ломоносова (САФУ), Московским государственным университетом им. М. В. Ломоносова, Российским государственным гидрометеорологическим университетом, Санкт-Петербургским государственным университетом, Всероссийским научно-исследовательским институтом рыбного хозяйства и океанографии, Федеральным исследовательским центром комплексного изучения Арктики им. академика Н. П. Лаверова УрО РАН. Экспедиция проходила с 16 июля по 2 августа 2019 года в акватории Белого моря и юго-восточной части Баренцева моря.

Целью третьего этапа экспедиции «Трансарктика — 2019» стала организация и проведение образовательной и научно-исследовательской программы, в рамках которой участниками экспедиции был прослушан курс лекций по физической океанографии Мирового океана и процессов взаимодействия океана с атмосферой, природным условиям и ресурсам Арктики, физико-химическим методам анализа и эколого-аналитического мониторинга, биологическим исследованиям в Арктике; были изучены условия внешней среды, особенности пространственного распределения океанографических характеристик Белого и Баренцева морей и синоптических процессов в районе работ; была получена комплексная количественная информация о состоянии природной системы морей.

Под руководством преподавателей РГГМУ Тениловой О. В. и Фроловой Н. С. студентами метеорологического (Усачева М. А., Петров В. В., Ивлев М. О.) и океанологического факультетов (Тейдер М. С., Хархордина Е. И., Кирилова А. А.) выполнены исследовательские работы гидрометеорологического профиля.

Студенты-океанологи принимали участие в непосредственном отборе проб на станциях, проводили гидрохимические и гидробиологические исследования, по результатам экспедиции подготовлены две статьи для студенческой отчётной сессии в САФУ. Также отдельно проводилась исследовательская работа по проведению подспутниковых экспериментов для валидации регионального алгоритма расчёта хлорофилла а.

Студенты-метеорологи проводили стандартные метеорологические наблюдения (температура воздуха, атмосферное давление, направление и скорость ветра, направление и высота ветрового волнения, количество и формы облачности, видимость, состояние погоды) и специальные актинометрические наблюдения, выполняли мониторинг метеорологических условий по маршруту следования судна и измеряли концентрации двуокси углерода (CO₂) в приводном слое воздуха. Также студенты-метеорологи проводили экологические исследования по изучению разнообразия и закономерностей изменения состава мейобентоса Баренцева и Белого морей на широтном градиенте по маршруту следования судна, отбирали пробы мелкой донной фауны и получали океанологические данные на точках отбора проб.

В ходе работ, которые выполнялись студентами и сотрудниками метеорологического и океанологического факультетов РГГМУ в рамках образовательной и научно-исследовательской программы третьего этапа экспедиции, были получены следующие результаты:

- выполнен сравнительный анализ данных по содержанию CO_2 в акваториях Баренцева, Белого и Карского морей (полученных начиная с 2011 г.) благодаря выполнению стандартных судовых метеорологических наблюдений, а также проведению специальных актинометрических наблюдений и измерений концентрации CO_2 в приземном слое воздуха;
- выявлены климатические особенности района исследований Белого и Баренцева морей;
- рассчитано испарение с поверхности Белого и Баренцева морей;
- отмечены особенности метеорологических наблюдений при исследовании арктических морей;
- рассмотрены особенности распределения основных компонент главного биогенного цикла и определено происхождение поверхностной аномалии концентрации биогенных элементов у мыса Кочинный;
- изучена вертикальная термохалинная и плотностная структура Белого моря и на основе полученных данных рассчитана плотность воды;
- выделена зона водообмена между водами Белого и Баренцева морей, а также отмечено, что воды Белого моря проходят вдоль восточного берега воронки, а воды Баренцева — вдоль западного.

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ «АРКТИЧЕСКИЙ ПЛАВУЧИЙ УНИВЕРСИТЕТ — 2019»: РАЗВИТИЕ КОНЦЕПЦИИ «ОБУЧЕНИЕ ЧЕРЕЗ ИССЛЕДОВАНИЯ»

А. А. Сабуров^{1*}, А. М. Безгрешнов², А. В. Весман², А. Ю. Кожевников¹, З. Б. Намсараев³,
Ф. К. Тузов⁴

¹Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова

²Арктический и антарктический научно-исследовательский институт

³Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»

⁴Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

*a.saburov@narfu.ru

Начиная с 2012 г. ежегодный проект «Арктический плавучий университет» является успешным примером сетевого научно-образовательного сотрудничества в Арктике, сочетания научных исследований с теоретической и практической подготовкой студентов в реальных условиях северных морей. Организаторами экспедиций «Арктического плавучего университета» на научно-исследовательском судне «Профессор Молчанов» (рис. 1) выступают Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова (САФУ) и Росгидромет при поддержке Русского географического общества (РГО). Для исследователей — это возможность провести работы в высокоширотной Арктике, для студентов — уникальная образовательная программа, включающая междисциплинарный курс лекций и практических занятий, которые проводят опытные специалисты. Образовательная составляющая экспедиций «Арктического плавучего университета» строится на следующих основных принципах:

- 1) обучение через проведение исследований, т. е. сочетание теоретической подготовки с проведением научной работы под руководством опытных учёных;
- 2) мультидисциплинарность или сочетание различных научных направлений, в том числе морских и научных исследований в рамках экспедиции;
- 3) международный характер экспедиции, позволяющий студентам получить практические навыки работы в многонациональной команде.

За восемь лет (2012–2019 гг.) проведено 12 экспедиций «Арктического плавучего университета». Участниками проекта стали более 600 человек, из них более 260 — студенты и аспиранты из разных университетов России и зарубежных вузов-партнёров (в том числе 61 студент из зарубежных стран — Финляндии, Швеции, Норвегии, Дании, Германии, Франции, Испании, Исландии, США, Канады, Бразилии и Швейцарии).

Вклад экспедиций «Арктического плавучего университета» в изучение и подготовку кадров для Арктического региона отмечен на самом высоком уровне. В 2013 году проект «АПУ» был выбран основной площадкой для развития научно-исследовательского сотрудничества Российского научного центра на архипелаге Шпицберген с научно-образовательными учреждениями России. Результаты проекта «АПУ» получили высокую оценку от целого ряда известных российских и зарубежных политиков и учёных. В 2014 году проект получил высокую оценку со стороны Президента Российской Федерации В. В. Путина и удостоился премии РГО. В этом же году экспедиция «Арктического плавучего университета» получила статус международной и прошла под эгидой Арктического совета. Экспедиция была включена в план основных мероприятий по проведению в 2017 году в Российской Федерации Года эко-



Рис. 1. Научно-исследовательское судно «Профессор Молчанов»

логии. Президент РГО, Министр обороны Российской Федерации С. К. Шойгу, в своём интервью для издаваемого в Новосибирске журнала «Неизвестная Сибирь» в октябре 2018 года назвал проект «Арктический плавучий университет» в числе главных для Русского географического общества на ближайшие годы.

Одиннадцатая международная комплексная научно-образовательная экспедиция «Арктический плавучий университет» состоялась в период с 22 июня по 11 июля 2019 года.

Маршрут экспедиции: Архангельск — разрез «Кольский меридиан» — Баренцбург (Шпицберген) — Нью-Олесунн — Пирамида — Лонгиир — Баренцбург — Архангельск (рис. 2).

Участниками экспедиции стали 58 учёных, студентов, магистрантов и аспирантов ведущих российских вузов, лабораторий и научно-исследовательских институтов, а также зарубежных организаций-партнёров из одиннадцати стран — КНР, Южной Кореи, Франции, Швейцарии, Норвегии, Великобритании, Германии, Туркменистана, Кыргызстана и Румынии.

Среди российских организаций — Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова (САФУ), Арктический и антарктический научно-исследовательский институт (ААНИИ), НИЦ «Курчатовский институт», Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ), Институт мировой экономики и международных отношений РАН (ИМЭМО РАН), Тюменский индустриальный институт, Ухтинский государственный технический университет.

Среди зарубежных участников:

- Китай: Харбинский инженерный университет, Исследовательский институт нефтяной инженерии Синопек, Китайский нефтяной университет, Университет Цинхуа, Академия общественных наук;
- Корея: Корейский институт полярных исследований, Пхоханский университет науки и технологии;
- Швейцария: Университет Женевы, Университет Лозанны, Политехнический университет Лозанны;
- Германия: Немецкое общество полярных исследований;
- Франция: Высшая нормальная школа Лиона;
- Норвегия: Академия искусств в Осло.

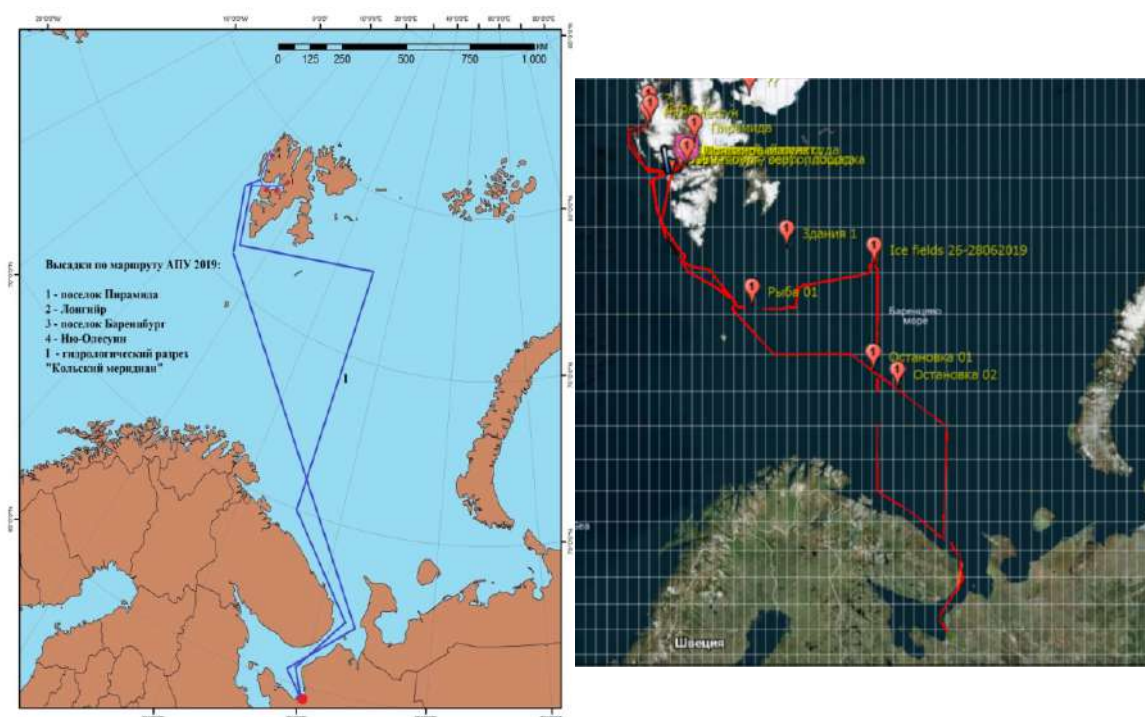


Рис. 2. Маршрут экспедиции «Арктический плавучий университет — 2019»

Цели экспедиции:

- получение новых знаний о состоянии и изменениях в экосистеме прибрежных территорий арктических архипелагов Шпицберген и Новая Земля;
- подготовка молодых специалистов по специальностям арктической направленности: гидрометеорология, экология, биология, география, геология, химия, международное право;
- развитие международного научно-образовательного сотрудничества, в том числе со странами Арктического совета в рамках экспедиционной деятельности в Арктике;
- продвижение российского научного, историко-культурного и природного наследия в Арктике в национальном и международном пространстве, популяризация полярных специальностей среди молодёжи.

Образовательный кластер экспедиции «Арктического плавучего университета» традиционно опирался на изучение фундаментальных естественно-научных и гуманитарных дисциплин, а также полевые научные исследования в экспедиционных условиях. Общая трудоёмкость образовательной программы экспедиции в 2019 году, как и в 2018, составила 15 зачётных единиц (540 часов), при этом половину запланированного учебного времени составила учебная полевая практика.

В рамках образовательной программы «Арктического плавучего университета — 2019» были реализованы 11 образовательных модулей на русском и английском языках:

- океанологические исследования в Арктике и Субарктике (А. В. Весман, ААНИИ);
- метеорологические исследования Арктики и Субарктики (А. М. Безгрешнов, ААНИИ);
- микробные сообщества экстремальных местообитаний и их использование для биотехнологии (З. Б. Намсараев, НИЦ «Курчатовский институт»);
- изменение климата и здоровье человека в Арктике (Н. Н. Кукаренко, САФУ);
- метан как парниковый газ (Д. МакГиннис, Университет Женевы);
- Арктика в системе международных отношений (А. А. Сергунин, СПбГУ);



Рис. 3. Лекция Барбары Шеннерляйн (фото Е. Сергеевкова)

- правовое пространство Арктики (А. А. Тодоров, ИМЭМО РАН);
- история освоения Арктики (Б. Шеннерляйн, Немецкое общество полярных исследований, рис. 3);
- история советской науки (К. Татарченко, Университет Женевы);
- космические мониторинговые системы (Д. С. Ковалев, САФУ);
- тепловая энергетика (Е. В. Панкратов, САФУ).

Образовательная программа предусматривала еженедельную отчётность в виде научных сессий, на которых участники подводили промежуточные итоги индивидуальных и групповых исследований.

В рамках образовательной программы были также организованы:

- посещение Генконсульства РФ в Баренцбурге;
- посещение Российского научного центра на Шпицбергене (рис. 4);
- экскурсия по Баренцбургу;
- экскурсия по полярным станциям в посёлке Нью-Олесунн;
- лекция представителей Норвежского полярного института;
- посещение Университетского центра на Шпицбергене;
- экскурсия по посёлку Пирамида.

В ходе проведения экспедиционных исследований были получены научные результаты по 4 основным научным направлениям.

Океанографические исследования (А. М. Безгрешнов, А. В. Весман, Ф. К. Тузов)

Цель исследований: получение информации о состоянии современных гидрологических условий Баренцева моря, изучение процессов распространения и трансформации теплых атлантических вод в Баренцевом море.

Океанологические исследования в Арктическом регионе проводятся с конца XIX века. В период с 1893 по 1902 год были проведены две норвежские полярные экспедиции под руководством Фритъофа Нансена и Отто Свердруп, результаты которых были опубликованы Нансеном в 1902 году [3].



Рис. 4. Презентация проекта «Арктический плавучий университет». Университетский центр на Свальбарде (UNIS), Лонгиир (фото Н. Авдониной)

На сегодняшний день по Арктическому региону собран достаточно большой объём данных, однако их распределение весьма неравномерно. Одним из наиболее обеспеченных данными районов является район Кольского меридиана. Стандартный разрез «Кольский меридиан» вдоль $33^{\circ}30'$ в. д. был установлен с 1899 года в рамках программы Международного совета по изучению морей [5]. Данные за такой длительный период позволяют подробно показать климатические изменения в регионе. Также возникает необходимость продолжать измерения и дополнять ряд наблюдений.

Определяющее влияние на термический режим западного сектора Северного Ледовитого океана и его морей оказывает Северо-Атлантическое течение и его ответвления. Перейдя Фарерско-Исландский порог, Северо-Атлантическое течение следует на северо-северо-восток вдоль берегов Норвегии (Норвежское течение), и затем разветвляется на Западно-Шпицбергенское, втекающее в Арктический бассейн к западу от Шпицбергена, и Нордкапское, втекающее в Баренцево море с запада [4].

Данный разрез был выполнен для анализа термического состояния тёплых атлантических вод, проникающих в Баренцево море с запада с Нордкапским течением. Результаты измерений представлены на рисунках 5 и 6. Атлантические воды, отличающиеся повышенной солёностью и температурой, занимают центральную часть разреза ($72\text{--}74,5^{\circ}$ с. ш.), а также проникают севернее в виде отдельных ветвей. Южная часть разреза занята прибрежными тёплыми опреснёнными водами. На севере, в районе $76,5^{\circ}$ с. ш., располагается фронтальная зона — граница распространения арктических вод, которые отличаются низкой солёностью и температурой (рис. 5, 6). Арктические воды были зафиксированы на заключительной станции ($76,5^{\circ}$ с. ш.).

Данные, полученные в ходе рейса, в дальнейшем будут систематизированы и добавлены к существующим базам данных для дополнения картины многолетней изменчивости гидрологической структуры на разрезе «Кольский меридиан».

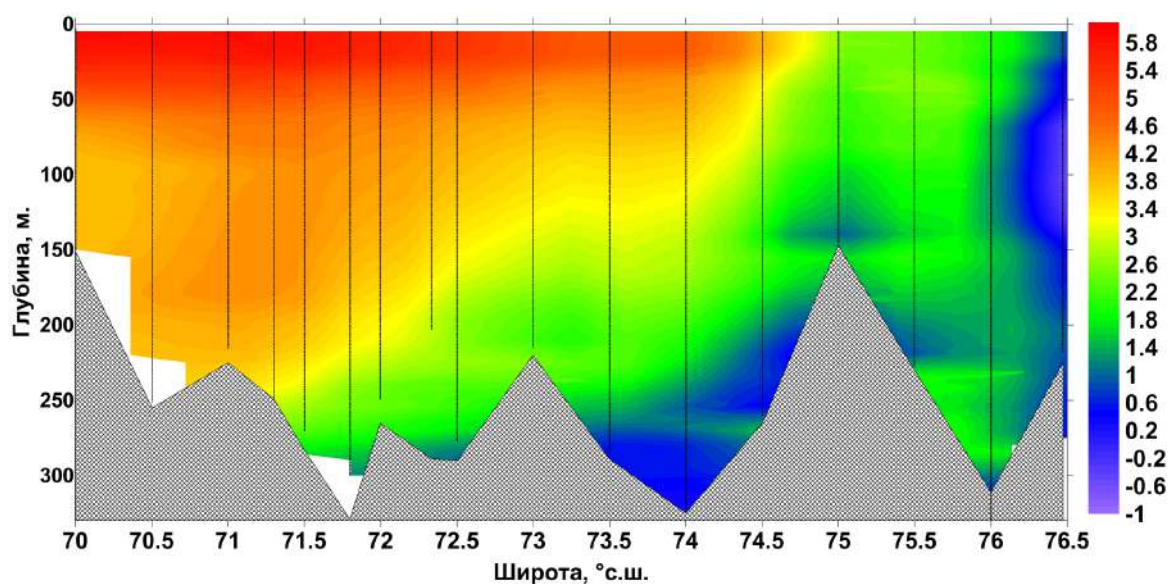


Рис. 5. Распределение температуры воды (°C) на разрезе «Кольский меридиан»

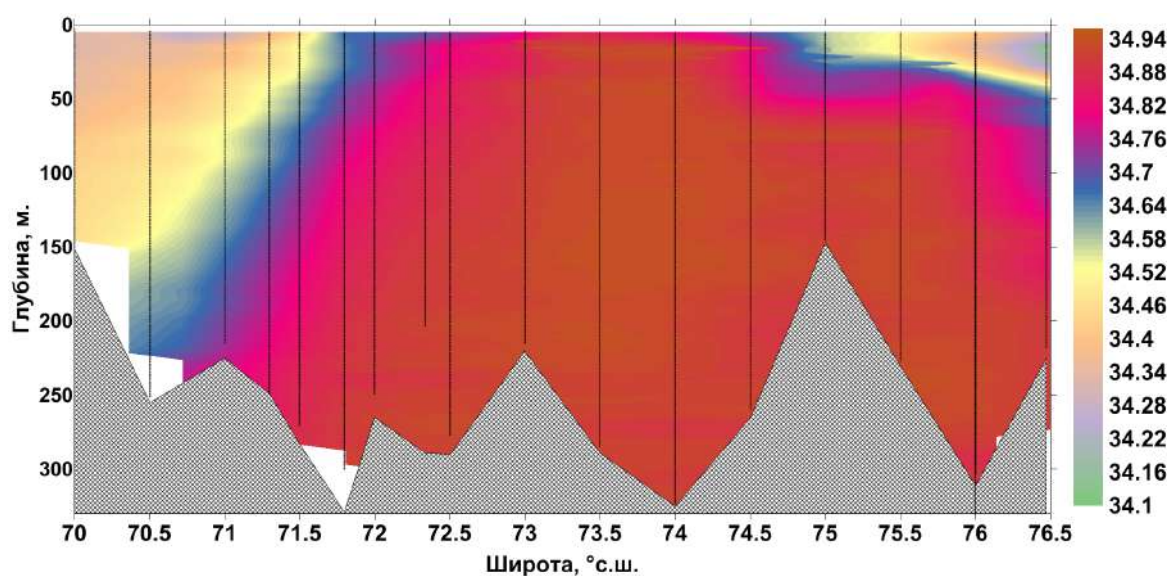


Рис. 6. Распределение солёности воды (psu) на разрезе «Кольский меридиан»

Комплексные исследования биоразнообразия Баренцева моря (З. Б. Намсараев)

Цель исследований: изучение биоразнообразия микробных сообществ Баренцева моря и архипелага Шпицберген.

Изменение климата и рост судоходства в Арктике приводят к увеличению риска инвазии чужеродных морских микроорганизмов в арктические воды. Наблюдения за микроорганизмами в Северном Ледовитом океане показывают, что в последние годы происходит изменение состава и динамики микроорганизмов с арктического типа на тип, характерный для умеренных широт, в том числе увеличилось число видов тропических и субтропических микроорганизмов, ранее не обнаружимых в Арктике [1 ; 2].

Массовое развитие микроводорослей и появление чужеродных видов микроорганизмов, включая виды, производящие токсины, опасные для человека и животных, приводит к ряду негативных последствий, в том числе к заморам и гибели рыб, морских млекопитающих, что влечёт за собой ущерб для экологии и экономики Арктического региона. Основным путём поступления чужеродных видов является биообрастание корпуса судна, а также сброс балластных вод при приёме груза, изменении ледовой обстановки или повреждения балластных танков при получении пробоин в бортах. Особенно важен контроль балластных вод при перевозке нефтегрузов и при транзитном прохождении судов из других климатических зон. Задача повышения безопасности водных биологических ресурсов и снижения риска поступления чужеродных видов в арктические воды рассматривается в ряде российских и международных документов, включая «Морскую доктрину Российской Федерации», «Международный кодекс для судов, эксплуатирующихся в полярных водах (Полярный кодекс)», «Международную конвенцию о контроле судовых балластных вод и осадков и управлении ими», «Международную конвенцию по предотвращению загрязнения с судов» и другие документы.

Арктические экосистемы также потенциально могут содержать гены, кодирующие необходимые в различных секторах экономики макромолекулы. Поиск новых молекулярных функций на основе анализа экосистем называется «биопроспектинг». Одной из целевых задач биопроспектинга является, к примеру, поиск новых классов антибиотиков.

Другой важный аспект — сохранение биоразнообразия Арктики, изменения которого неизбежны по причине климатических изменений и антропогенного фактора. В этой связи возникают несколько задач: проведение постоянного мониторинга биоразнообразия; создание прогностических моделей развития экосистем; проведение биопроспектинга и т. д.

До настоящего времени комплексный метагеномный анализ экосистем российского сектора Арктики не проводился.

Судовые работы: отбор проб воды и донных осадков в Баренцевом море.

Работы на высадках: отбор проб почвенных корок на архипелаге Шпицберген.

Образцы воды фильтровались на стерильные фильтры для выделения ДНК и проведения метагеномного анализа. Образцы дна отбирались в стерильные пробирки и замораживались. В настоящее время проводится выделение ДНК из отобранных проб для изучения состава микроорганизмов в пробах с использованием секвенаторов новейшего поколения в НИЦ «Курчатовский институт».

В экспедиции проведён отбор проб воды с различных глубин на 4 станциях в Баренцевом море, также проведён отбор проб донных осадков на 5 станциях, получены 1 проба с поверхности судна и 1 наземная проба почвенных обрастаний архипелага Шпицберген.

В настоящее время проводится выделение ДНК с целью анализа метагеномного состава изученных сообществ, что позволит получить информацию о составе и биогеографии микробных сообществ Баренцева моря и архипелага Шпицберген.

Метеорологические исследования (А. М. Безгрешнов)

Цель: исследование пространственно-временной изменчивости потока солнечной радиации, получение новых данных о состоянии приводного слоя атмосферы для дальнейшей оценки параметров энергомассообмена между океаном и атмосферой, изучение изменения содержания CO₂ в приводном слое воздуха и перераспределения солнечной радиации в верхнем слое моря.

Исследования проводились в приводном слое атмосферы и приповерхностном слое моря по маршруту следования судна: устье р. Северная Двина — Белое море — Баренцево море — арх. Шпицберген.

Проведены непрерывные измерения основных метеорологических величин (температуры, относительной влажности воздуха, атмосферного давления, скорости и направления относительного ветра). С помощью судовой метеостанции накоплен массив ежеминутных значений основных метеовеличин (более 25000 значений для каждого ряда).

Для получения метеорологических данных использовалась установленная на борту НИС «Профессор Молчанов» автоматическая гидрометеорологическая станция (АГМС) М-49М. АГМС была установлена на пеленгаторной палубе.

Измерения потока суммарной солнечной радиации и фотосинтетической активной радиации проводились согласно методике проведения актинометрических наблюдений [6]. Более 18000 значений суммарной солнечной радиации (300–3000 нм) получено с пиранометров. Средства измерений, представленные актинометрическими датчиками различного типа, располагались на пеленгаторной палубе НИС (высота 15 м над уровнем моря) в наименее затенённых палубным оборудованием местах. Пиранометр для измерения суммарной солнечной радиации был установлен в карданном подвесе, закреплённом на леере. Средства регистрации включали в себя аналогово-цифровой преобразователь Data-Logger LI-1000, предназначенный для регистрации и накопления сигналов от актинометрических датчиков (пиранометр, датчик фотосинтетически активной радиации).

Для исследования газового состава атмосферы ежедневно определялись концентрации углекислого газа в приземном слое. Проведена 19-дневная непрерывная серия измерений концентрации CO₂ в приземном слое. Измерения содержания CO₂ проводились газоанализатором «ОПТОГАЗ-500.4 CO₂».

Газоанализатор «ОПТОГАЗ-500.4 CO₂» представляет собой автоматический показывающий прибор непрерывного действия, предназначенный для измерения объёмной концентрации диоксида углерода в атмосферном воздухе и воздухе рабочей зоны.

На океанографических станциях проводились измерения фотосинтетически активной радиации (ФАР), относительной прозрачности и цвета морской воды в поверхностном слое моря. Измерения оптических характеристик поверхностного слоя морской воды выполнялись в светлое время суток, во время проведения гидрологических станций. Измерения потоков солнечной радиации осуществлялись над поверхностью воды, а также на горизонтах 1, 2, 3, 4, ..., 10, 12, 15, 20, 40, 45 метров, в зависимости от глубины места и уровня получаемого сигнала, с использованием регистратора и датчиков UWQ (LI-192, LI-COR). Синхронно фиксировался уровень приходящей солнечной радиации. Воздушный датчик (LI-190, LI-COR) располагался на незатенённой горизонтальной площадке. Во время проведения измерений фиксировались текущие погодные условия (балл облачности, состояние солнечного диска, горизонтальная дальность видимости, состояние поверхности моря, явления и т. д.). Цветность определялась при сопоставлении видимого цвета диска Секки, опущенного на ½ глубины относительной прозрачности, со стандартной шкалой цветности морской воды.

Утверждённая программа выполнена в полном объёме. Собран уникальный массив данных, который дополнит уже имеющуюся информацию о регионе и впоследствии может быть использован для выявления долговременных тенденций изменения климата в Арктическом регионе.

Идентификация и определение приоритетных загрязнителей арктических экосистем (А. Ю. Кожевников)

Членами коллектива исполнителей выполнен значительный объём работ по отбору проб объектов окружающей среды в Арктике для последующего исследования методами газовой и жидкостной хроматографии — масс-спектрометрии высокого разрешения.

Произведён отбор 20 проб снега, 10 проб воды и 10 проб почв на западном побережье архипелага Шпицберген. В ходе экспедиции впервые проведён пробный отбор образцов воздуха вдоль западного побережья Шпицбергена на сорбционные трубки для последующей отработки методологии определения летучих и полуметучих поллютантов методом термодесорбционной газовой хроматографии — масс-спектрометрии высокого разрешения на основе орбитальной ионной ловушки. Пробы воздуха при помощи аспиратора ActiVOC (Markes, Великобритания) параллельно отбирались на два типа сорбционных трубок: SVOC для полуметучих соединений (прокачка 20 л воздуха со скоростью 0,1 л·мин⁻¹) и Universal для определения летучих соединений (прокачка 2 л воздуха со скоростью 0,1 л·мин⁻¹).

Работы по развитию методологии и проведению нецелевого скрининга экотоксикантов в объектах окружающей среды арктической зоны проведены в области развития методологии двумерной газовой хроматографии — масс-спектрометрии высокого разрешения.

В ходе выполнения проекта получены следующие основные результаты:

- 1) разработан новый подход к определению индексов удерживания органических соединений в двумерной газовой хроматографии, позволяющий учесть влияние температуры на время удерживания аналитов и **повысить надёжность идентификации неизвестных соединений в ходе нецелевого скрининга объектов окружающей среды. Разработанный подход успешно апробирован при анализе образцов снега;**
- 2) получены новые знания о процессах сорбционного концентрирования более 70 важнейших полуметучих органических поллютантов разных классов на различных типах сорбентов для твердофазной экстракции. Показана высокая эффективность полимерных функционализированных сорбентов для извлечения и концентрирования приоритетных поллютантов из образцов снега, определены величины степеней извлечения аналитов. На этой основе **предложен подход к экспрессному количественному анализу снега методами газовой и жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием.** Показана перспективность применения твердофазной экстракции на полидиметилсилоксановых сорбентах в сочетании с последующей термодесорбцией аналитов и анализом методом газовой хроматографии — масс-спектрометрии высокого разрешения для определения некоторых классов аналитов, особенно полициклических ароматических углеводородов;
- 3) **предложен новый подход к ультрачувствительному определению хлорфенолов в морской воде, снеге и донных отложениях,** основанный на применении твердофазной микроэкстракции (ТФМЭ) аналитов из паровой фазы с последующей дериватизацией в парах реагента непосредственно на поверхности ТФМЭ-волокна и анализом методом газовой хроматографии — tandemной масс-спектрометрии.

Подводя итог, отметим, что рейс «Арктического плавучего университета» 2019 года логически продолжает научно-исследовательские работы предыдущих рейсов.

В 2020 году экспедиция состоится в период с 17 июля по 3 августа и посетит российские арктические архипелаги Земля Франца-Иосифа и Новая Земля. Подробная информация об экспедиции доступна на сайте САФУ имени М. В. Ломоносова <https://narfu.ru/en/research/expeditions/fu/>.

ЛИТЕРАТУРА

1. Recent Arctic Ocean sea ice loss triggers novel fall phytoplankton blooms / Ardyna M., Babin M., Gosselin M. [et al.] // *Geophysical Research Letters*. 2014. Vol. 41, no. 17. P. 6207–6212. DOI: [10.1002/2014GL061047](https://doi.org/10.1002/2014GL061047)
2. Bjørklund K. R., Kruglikova S. B., Anderson O. R. Modern incursions of tropical Radiolaria into the Arctic Ocean // *Journal of Micropalaeontology*. 2012. Vol. 31, no. 2. P. 139–158. DOI: [10.1144/0262-821X11-030](https://doi.org/10.1144/0262-821X11-030)
3. Rudels B. Arctic Ocean circulation, processes and water masses: A description of observations and ideas with focus on the period prior to the International Polar Year 2007–2009 // *Progress in Oceanography*. 2015. Vol. 132. P. 22–67. DOI: [10.1016/j.poccean.2013.11.006](https://doi.org/10.1016/j.poccean.2013.11.006)
4. Добровольский А. Д., Залогин Б. С. Моря СССР. М. : Изд-во МГУ, 1982. 192 с.
5. Зубов Н. Отечественные мореплаватели-исследователи морей и океанов. М. : Географиз, 1954. 476 с.
6. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам / Федер. служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды ; [разраб.: В. И. Кондратюк и др.]. СПб. : Гидрометеоиздат, 2005– .



Рис. 7. Океанографические научные работы в экспедиции «Арктический плавучий университет — 2019» (фото Е. Сергеевкова)

КОМПЛЕКСНЫЕ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ В 49-М РЕЙСЕ НИС «АКАДЕМИК СЕРГЕЙ ВАВИЛОВ»

В. В. Сивков*, М. О. Ульянова, Д. В. Дорохов, Е. С. Бубнова

Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН

*vadim.sivkov@atlantic.ocean.ru

Основной целью экспедиционных исследований НИС «Академик Сергей Вавилов» в Балтийском море (49-й рейс) была работа по теме государственного задания Института океанологии им. П. П. Ширшова Российской академии наук (ИО РАН) на 2019–2021 гг. № 0149-2019-0013 «Морские природные системы Балтийского моря и Атлантического океана: формирование природных комплексов Балтийского моря и их изменение под влиянием Атлантического океана и антропогенного воздействия». Дополнительные работы выполнялись в рамках международного проекта «Комплексное управление морским культурным наследием региона Балтийского моря» (BalticRim) программы «Интеррег. Регион Балтийского моря».

Основные задачи экспедиции:

- сбор данных и материалов для выполнения палеогеографических реконструкций морских природных комплексов, создания атласа российского сектора Юго-Восточной Балтики, получения количественных оценок по гидролого-гидрохимическим условиям и антропогенному загрязнению Балтийского моря;
- выявление и идентификация техногенных объектов на морском дне.

Кроме того, во время рейса на борту судна были организованы научно-образовательные мероприятия:

- II-я Международная летняя школа для студентов и аспирантов «Береговая зона моря: исследования, управление и перспективы» (организаторы — Балтийский федеральный университет (БФУ) им. Иммануила Канта совместно с Атлантическим отделением ИО РАН);
- круглый стол Калининградского регионального отделения общественной организации «Российское геологическое общество» по теме «Полезные ископаемые Балтийского моря: состояние изученности, проблемы и перспективы использования».

Виды и методы работ

Работы проводились на океанологических станциях и полигонах, а также на переходах.

Виды работ на станциях:

- вертикальное зондирование многоканальными гидрофизическими зондами;
- отбор проб воды с заданных горизонтов с последующими гидрохимическими анализами на борту судна (определение концентрации кислорода, сероводорода, фосфатов и силикатов, фильтрация воды для сбора и определения концентрации взвеси);
- отбор проб донных осадков ударной геологической трубкой («большого диаметра»), герметичной геологической трубкой (осадки вместе с придонной водой) и дночерпателем.

Виды геоакустических исследований (полигоны и переходы между ними):

- высокоразрешающее геоакустическое профилирование донных осадков;
- гидролокация бокового обзора.

Районы работ и объем полученных материалов

Работы выполнялись в юго-восточном и центральном районах Балтийского моря в исключительных экономических зонах России, Швеции и Польши (рис. 1). Всего было выполнено 24 океанологические станции, 23 гидрофизических зондирования, отобрано по 2 колонки ударной и герметичной геологическими трубками, 7 дночерпательных проб. На полигонах и переходах выполнено 420 км геоакустического профилирования с использованием комплекса ЕА400 (гидролокация бокового обзора и геоакустическое профилирование) и 869 км — с использованием судового эхолота-профилографа ЕА600.

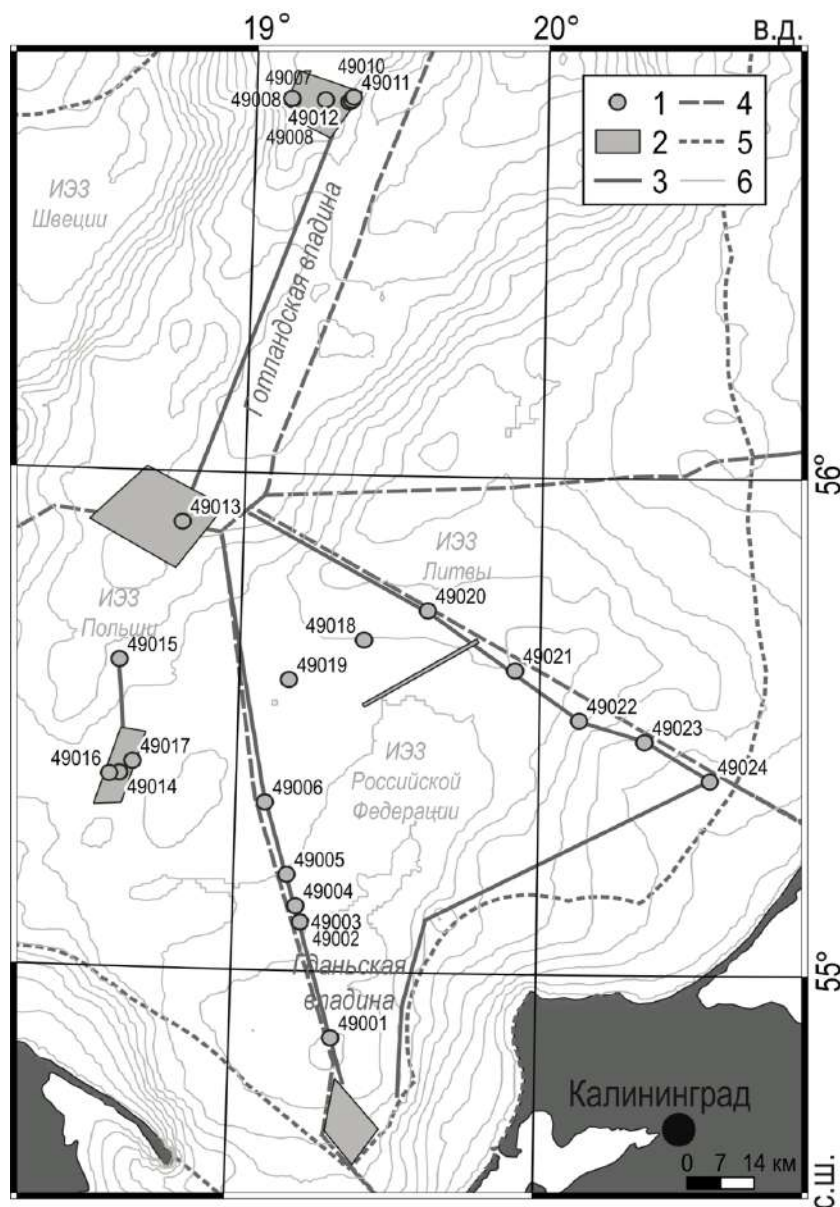


Рис. 1. Пространственная схема работ в 49-м рейсе НИС «Академик Сергей Вавилов»: 1 — океанологические станции, 2 — геоакустические полигоны, 3 — попутное геоакустическое профилирование, 4 — границы исключительных экономических зон, 5 — границы территориальных вод, 6 — изобаты (через 10 м)

Предварительные научные результаты

Гидрологические условия в районе исследования в основном соответствовали среднегодовым: верхний квазиоднородный слой (ВКС) достигал глубины 20 м и ограничивался выраженным сезонным термоклинном. Было отмечено частичное совмещение холодного промежуточного слоя и нижележащего галоклина, т. е. несовпадение по глубине перманентного термоклина и галоклина.

В связи с активным сезонным биопродуцированием и отсутствием адвекции кислорода за счёт заток североморских вод зафиксировано увеличение мощности придонных слоёв гипоксии и аноксии (сероводородного заражения). Так, в Гданьской впадине гипоксия (содержание кислорода $< 2 \text{ мл} \cdot \text{л}^{-1}$) отмечалась уже на горизонте 75 м (при глубине впадины 110 м), аноксия (до $0,26 \text{ мл} \cdot \text{л}^{-1} \text{ H}_2\text{S}$) — на горизонте 95 м. ВКС характеризовался предельно низкими концентрациями минерального фосфора и кремния в противоположность придонному слою, где их концентрации были максимальны.

Уточнены размеры и форма крупного осадочного тела — Готландского контуритового дрефта и прилегающей к нему с восточной стороны узкой полосы пониженных скоростей осадконакопления, которая трассирует путь контурных течений североморских вод. В текстуре нижней части колонки, отобранной на дрефте (АСВ49013), обнаружена волнистая слоистость, ассоциирующаяся с рифелями (знаками ряби). Их положение в осадочном разрезе соответствует времени литориновой трансгрессии (4–8 тыс. лет назад) и согласуется с существованием в это время в Балтийском море сильных контурных течений. На поверхности дрефта обращают на себя внимание локальные депрессии, имеющие дискуссионное происхождение: газовые покмарки или промоины.

В северной части Гданьской впадины уточнено положение верхней границы илистых осадков, а в её южной части — ареала газонасыщенных илов. В частности, выявлена более сложная его форма по сравнению с имевшимися ранее представлениями. В районе Гданьско-Готландского порога значительно расширен ареал распространения борозд ледовой экзарации (плугмарков), в том числе погребённых.

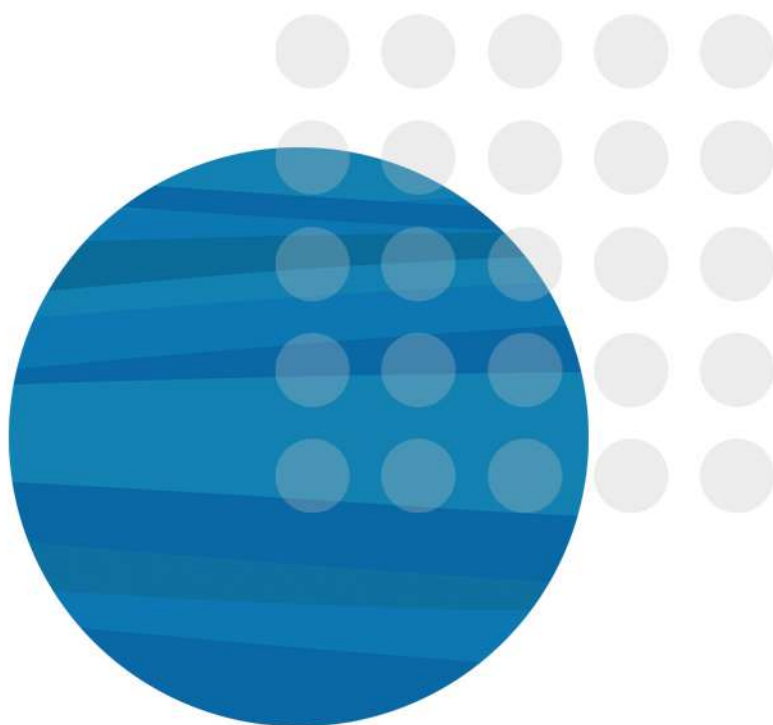
В воде и донных осадках получены экспериментальные пробы для изучения магнитотактических бактерий, способных в условиях аноксии и гипоксии синтезировать магнитные минералы (в частности, магнетит, грейгит). Остающиеся после отмирания бактерий минералы влияют на магнитные свойства осадков, что позволяет рассматривать их в качестве палеогеографического маркера окислительно-восстановительных условий придонного слоя.

Результаты научно-образовательных мероприятий

Особенностью рейса было сочетание научной и образовательной деятельности в рамках концепции «Плавучий университет». Слушателями II Международной летней школы для студентов и аспирантов «Береговая зона моря: исследования, управление и перспективы» стали 28 бакалавров, магистрантов и аспирантов БФУ им. И. Канта, Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева, Клайпедского университета, Брестского государственного университета им. А. С. Пушкина и Института природопользования НАН Беларуси. В работе школы приняли участие 14 лекторов из разных городов России (Калининград, Москва, Санкт-Петербург, Нижний Новгород) и Литвы. Программа школы состояла из лекций, мастер-классов, творческих конкурсов.

В работе круглого стола Калининградского регионального отделения общественной организации «Российское геологическое общество» по теме «Полезные ископаемые Балтийского моря: состояние изученности, проблемы и перспективы использования» приняли участие не только члены общества, но и приглашённые специалисты из научных организаций России и Литвы.

Северо-западная часть Тихого океана и дальневосточные моря



РЕКОНСТРУКЦИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ И КЛИМАТА ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ МОРЕЙ И СУБАРКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА. СЕДЬМАЯ РОССИЙСКО-КИТАЙСКАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ НИС «АКАДЕМИК М. А. ЛАВРЕНТЬЕВ» (РЕЙС № 87, 5 СЕНТЯБРЯ — 17 ОКТЯБРЯ 2019 Г.)

А. А. Босин, А. В. Артемова, Ю. П. Василенко

Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН

Научные работы экспедиции выполнялись в рамках госзаданий Тихоокеанского океанологического института им. В. И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук (ТОИ ДВО РАН) и для обеспечения обязательств по международному сотрудничеству с Китайской Народной Республикой (КНР) в соответствии с Соглашением между Правительством Российской Федерации и Правительством Китайской Народной Республики о сотрудничестве в области исследования и использования Мирового океана от 27.05.2003. Участие в рейсе учёных КНР предусмотрено этим же Соглашением. Международное сотрудничество осуществлялось в соответствии с Соглашением между Первым институтом океанографии Министерства природных ресурсов КНР (ПИО МПР) и ТОИ ДВО РАН.

Российские участники экспедиции — 19 человек — сотрудники ТОИ ДВО РАН.

Руководитель экспедиции — к. г. н. А. А. Босин.

Китайские участники экспедиции — 10 человек — сотрудники ПИО МПР КНР.

Основные цели экспедиции: комплексные междисциплинарные высокоразрешающие исследования Японского и Охотского морей и северо-западной части Тихого океана для реконструкции региональных изменений климата, продуктивности, морских льдов и вентиляции промежуточных и глубинных вод, а также активности восточноазиатского муссона и изменений путей западных струйных ветров в плейстоцене и голоцене в связи с глобальными изменениями климата.

Виды и последовательность выполнения работ:

- получение новых данных о структуре верхней части осадочного чехла и строении акустического фундамента с помощью высокоразрешающих сейсмоакустических исследований;
- исследование структуры водных масс в осенний период в районе работ экспедиции;
- отбор и первичная обработка образцов донных отложений, включая образцы поверхностных осадков и осадочные керны. Подготовка образцов осадка для последующего лабораторного анализа;
- сравнение полученных результатов с данными предыдущих экспедиций в районе исследований;
- попутные исследования на переходах между районами и станциями — проточная система для регистрации температуры, солёности, содержания хлорофилла, содержания растворённого кислорода и pH в поверхностном слое воды.

Объём выполненных работ: Программа рейса № 87 выполнялась в режиме каботажного плавания в исключительной экономической зоне РФ. Продолжительность экспедиции составила 43 суток (с 5 сентября по 17 октября 2019 г.). Начало и завершение экспедиции — порт Владивосток.

Работа в рейсе выполнялась в основном в следующей последовательности: непрерывное сейсмическое профилирование для выбора места комплексных станций. На комплексных станциях отбирались короткие керны поверхностных осадков мультикорером и бокс-корером, два длинных керна с использованием гравитационных пробоотборников, STD-зондирование с отбором проб воды на стандартных горизонтах, отбор проб планктона, измерение содержания ртуты в воде и в воздухе.

Всего за время экспедиции были проведены работы на 65 геологических и 41 гидрологической станциях в Японском и Охотском морях. Высокочастотным профилографом получено 1121 км высокоразрешающих сейсмоакустических профилей.

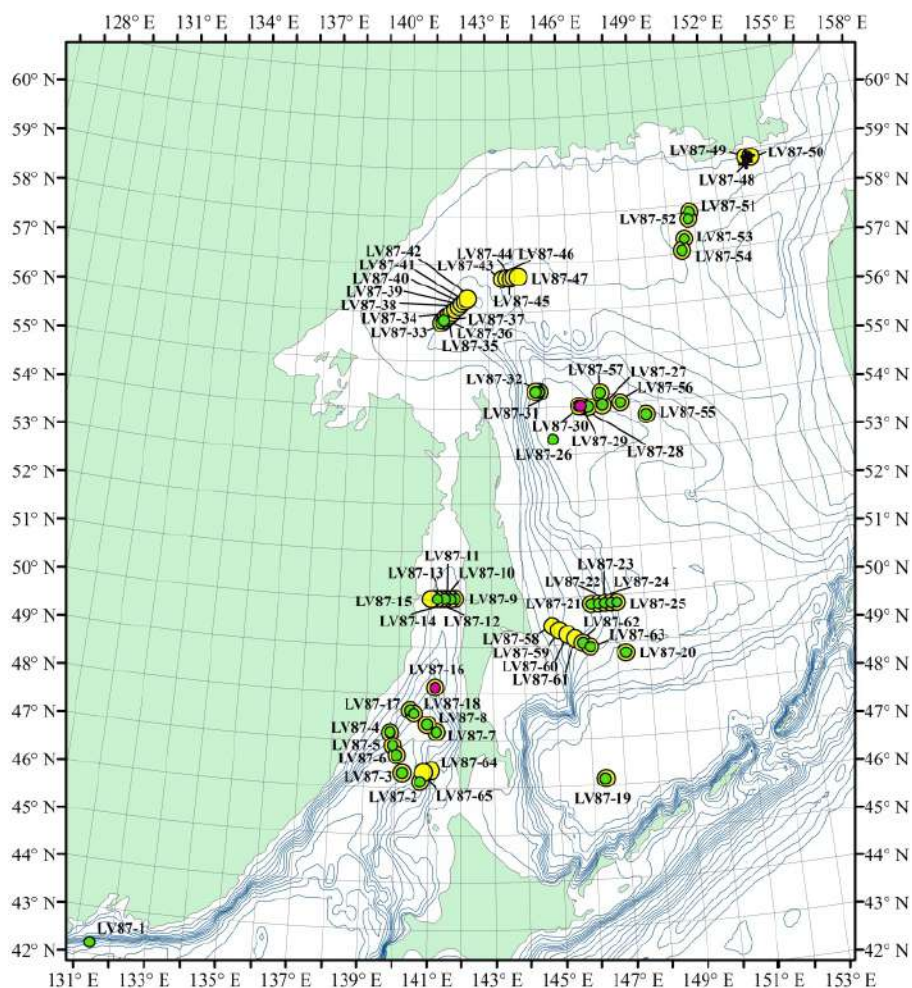


Рис. 1. Станции геологических работ, выполненных в седьмой российско-китайской экспедиции НИС «Академик М. А. Лаврентьев» (рейс № 87, 5 сентября — 17 октября 2019 г.)

Было отобрано 65 кернов донных осадков. На основе предварительных литологических исследований осадков были выбраны наиболее перспективные колонки для дальнейшего тщательного комплексного исследования и реконструкции региональных изменений климата, продуктивности, морских льдов и вентиляции промежуточных и глубинных вод, а также активности восточноазиатского муссона.

За период экспедиции была выполнена 41 океанографическая станция. Общее количество STD-зондирований составило 50. Было проведено 6 геологических драгирований. По всему маршруту проводился сбор гидрометеорологических данных.

Основные результаты:

1. Пополнена коллекция донных отложений из Японского и Охотского морей, в том числе из ранее не изученных районов. Кроме того, коллекция института была дополнена уникальным материалом проб ненарушенного поверхностного слоя осадков.
2. В результате проведенных высокоразрешающих сейсмоакустических исследований были получены новые данные о строении верхней части осадочных отложений.

3. Получен массив гидрологических и биологических данных для характеристики водных масс, которые после окончательной обработки позволят дополнить комплексную характеристику состояния и изменчивости структуры и динамики водных масс изученных морей.
4. Впервые для абиссального района Курильской котловины были получены длинные осадочные керны и обнаружен ранее нигде не встречающийся прослой осадков с уникальным составом микрофоссилий.
5. У подножья материкового склона залива Петра Великого (Южное Приморье) впервые обнаружены признаки структур, связанных с проявлением сульфидно-рудной минерализации гидротермального типа. Данный район, находящийся вблизи Владивостока, может послужить естественной лабораторией для изучения процессов сульфидного рудогенеза.
6. Впервые получен широтный разрез наиболее мелководной северной части Татарского пролива. Анализ полученных данных позволит проследить флуктуации поступления амурских вод через пролив Невельского в Японское море в течение голоцена. Эти результаты необходимы для изучения водного обмена между Японским и Охотским морями и этапов формирования системы течений северной части Японского моря.
7. В центральной части восточного склона о. Сахалин обнаружены и идентифицированы прослои вулканического пепла с установленными ранее возрастами. Это позволит построить надёжные возрастные модели для полученных кернов донных осадков из этого района моря. А также позволит уточнить ареалы пеплопадов и объёмы пирокластического материала извержений. Полученные результаты внесут вклад в изучение истории катастрофических извержений Курильской островной дуги. Высокие скорости осадконакопления в данном районе во время максимума последнего оледенения и перехода к современным межледниковым климатическим условиям позволят провести детальную реконструкцию драматических событий этого периода.
8. На западном склоне Татарского пролива обнаружены специфические морфоструктуры газовой природы, в том числе выраженные в рельефе дна. Обнаружены многочисленные проявления поздненеогеновой тектонической активности в виде ярко выраженных разрывных нарушений (сбросы и взбросы), которые секут осадочный чехол и часто достигают поверхности морского дна.
9. На борту, в условиях судовых лабораторий, были проведены первичные литологические, литофизические и микропалеонтологические исследования, направленные на изучение и оценку степени реакции морской среды на происходившие в прошлом и происходящие в настоящее время климатические изменения, в том числе и как отклик на растущую хозяйственную деятельность в регионе.

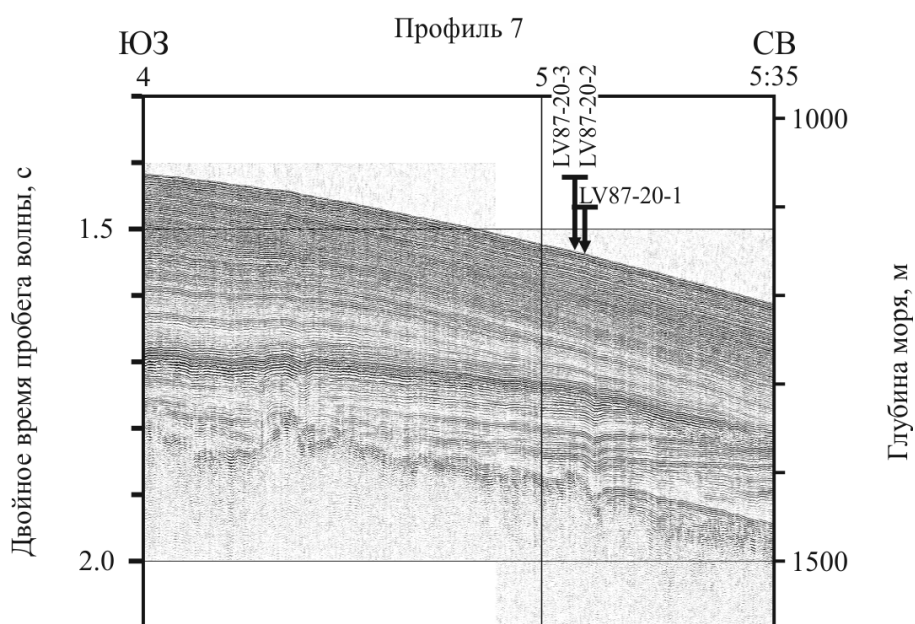


Рис. 2. Сейсмоакустический профиль, иллюстрирующий строение верхней части осадочного чехла в месте геологического опробования на станциях LV87-20-(1-3)

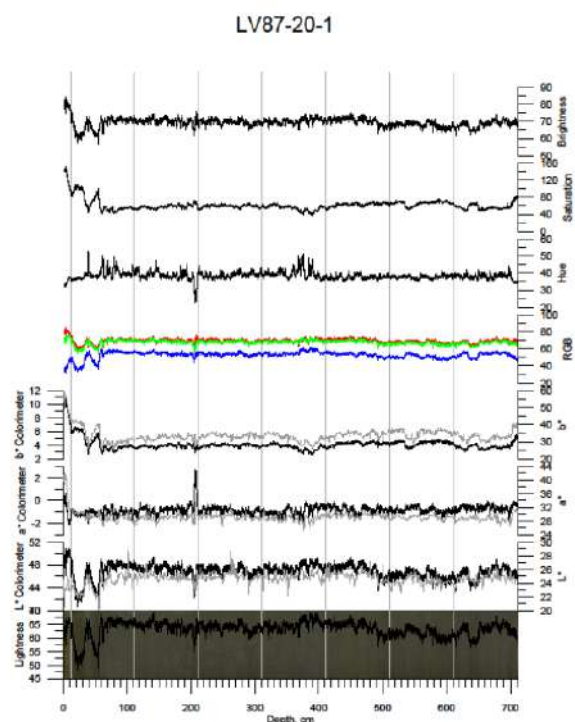
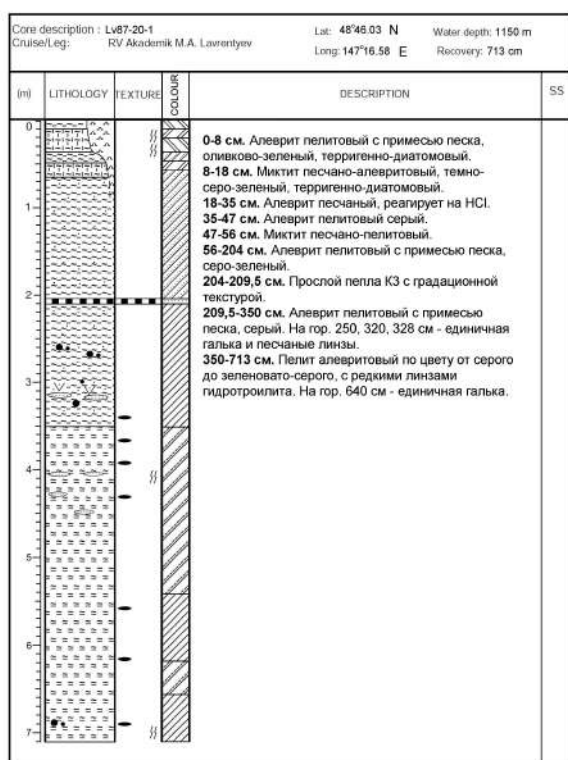


Рис. 3. Пример литостратиграфического расчленения колонки донных осадков LV 87-20-1 по данным измерений на борту судна и цветовые характеристики осадков

КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ, ГАЗОГЕОХИМИЧЕСКИЕ И ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЯПОНСКОМ МОРЕ И ТАТАРСКОМ ПРОЛИВЕ (85-Й РЕЙС НИС «АКАДЕМИК М. А. ЛАВРЕНТЬЕВ»)

М. Г. Валитов*, А. И. Обжиров, Р. Б. Шакиров, Н. С. Ли, А. В. Яцук, З. Н. Прошкина, А. Л. Пономарева, В. В. Калинин, С. П. Плетнев, Е. Н. Марьяна, Д. А. Швалов, М. А. Бовсун

Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН

*valitov@poi.dvo.ru

В период с 18 мая по 24 июня 2019 года согласно плану морских экспедиционных исследований, поддержанному Советом по гидросфере Земли Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, в северную часть Японского моря и южную часть Татарского пролива была организована третья комплексная морская экспедиция на НИС «Академик М. А. Лаврентьев» (рейс № 85). Основной целью экспедиции являлось выполнение комплексных геолого-геофизических, газогеохимических, гидрохимических, микробиологических и океанографических исследований, направленных на изучение глубинного строения земной коры, выявление закономерностей размещения полезных ископаемых, в том числе условий формирования залежей газогидратов, исследование состояния геосфер (фонового и аномального), а также для оценки современной активности геологических процессов.

В ходе экспедиции решались следующие задачи:

- изучение аномальных геофизических полей как основы для исследования глубинной структуры, характера тектонических деформаций подстилающего фундамента;
- изучение аномальных газогеохимических полей в донных отложениях и в водной толще районов исследования;
- поиск и изучение участков газовой эмиссии;
- поиск новых газогидратоносных участков;
- оценка потока парниковых газов (метан, углекислый газ, пары воды) и концентрации токсических веществ (ртуть);
- изучение литологического и химического состава донных отложений исследуемого района;
- изучение химического состава органического вещества осадков;
- выполнение CTD-зондирований до дна с определением температуры, солёности, мутности, содержания хлорофилла а и растворённого кислорода с целью изучения особенностей их пространственного распределения, а также получения массива океанологических данных о структуре вод в районе исследований;
- отбор проб морской воды с различных горизонтов на станциях CTD-зондирования с использованием батометрической системы для определения газогеохимических параметров и содержания радиоактивных элементов в толще вод;
- исследование микробиологического окисления метана в донных отложениях Японского моря и Татарского пролива.

Экспедиция проходила в два этапа. На первом этапе в экспедиции принимали участие 30 человек: Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской Академии наук (ТОИ ДВО РАН) — 21, Дальневосточный федеральный университет (ДФУ) — 2, Лаборатория газовых гидратов Университета Мэйдзи (Токио, Япония) — 7.

На втором этапе — 14 человек: 12 сотрудников ТОИ ДВО РАН и 2 студента ДВФУ. Научный состав экспедиции участвовал в работе 5-ти отрядов: геофизического, газогеохимического, гидрологического, литологического и микробиологического.

Комплекс методов во время движения судна включал гравиметрические исследования, непрерывное акустическое зондирование морского дна (эхолотирование), магнитометрию, регистрацию температуры и солёности в поверхностном слое по маршруту движения судна. На станциях осуществлялось зондирование STD-зондами до дна с определением температуры, солёности, мутности, содержания хлорофилла *a* и растворённого кислорода; отбор проб воды для определения газогеохимических параметров и содержания радиоактивных элементов; отбор донных осадков для определения его вещественного, газогеохимического и бактериального состава; драгирование. В период проведения всех работ выполнялись атмохимические измерения содержания метана, CO₂, паров воды и ртути. Все работы выполнялись в соответствии с известными стандартными методиками по проведению геолого-геофизических, океанологических и биологических исследований в море.

Предусмотренные планом-программой основные задачи экспедиции выполнены полностью. Экспедиция была начата и завершена в порту Владивосток и проводилась в период с 18 мая по 24 июня 2019 г. (рис. 1). Работы выполнялись на трёх полигонах. Первый этап экспедиции (порт Владивосток — центральная часть Татарского пролива — порт Холмск) выполнялся в период с 18 по 26 мая 2019 г. Были выполнены газогеохимические, гидрологические, литологические и микробиологические исследования в южной части Татарского пролива, на западном склоне и шельфе о. Сахалин (полигон 1). По прибытии судна в порт Холмск его покинула часть научного состава экспедиции, в том числе японские учёные. Второй этап (порт Холмск — южная часть Татарского пролива — северная часть Японского моря — порт Владивосток) проходил в период с 27 мая по 24 июня 2019 г. (полигоны 2, 3). Были проведены геофизические, газогеохимические и микробиологические исследования. Во время переходов между полигонами проводились геофизические работы и отбор проб воды на содержание растворённых газов и измерения её температуры и солёности. Велась обработка полученного материала. Проводились научные семинары.

На первом полигоне, в центральной части Татарского пролива, выполнено 13 отборов керна из верхней части осадочного чехла, 2 драгирования участков выхода газовых факелов и 20 гидрологических станций с отбором воды на газогеохимические и радиологические исследования. Места океанологических станций выбирались на уже опробованных ранее участках с целью изучения изменчивости океанологических и геохимических процессов. Все работы сопровождалось эхолотным промером, определением температуры и солёности приповерхностного слоя воды и атмохимическими наблюдениями. В результате получен новый сравнительный материал по особенностям строения осадочной толщи на предмет влияния метановых эманаций и расшифровки процессов образования газовых гидратов, времени проявления метановых сипов. Подтверждена стабильность существования газогидратных проявлений в Татарском проливе в течение длительного периода времени с момента их обнаружения в 2012 г. на конкретных участках морского дна, однако интенсивность газовой разгрузки изменилась. Гидрологическими исследованиями установлено наличие в толще вод Татарского пролива линз anomalно тёплой воды, являющихся апофизами тёплого Цусимского течения. Этот вывод подтверждает обнаружение теплопроводных планктонных фораминифер в субарктических водах Татарского пролива и объясняется их переносом в летний сезон из Корейского пролива мощным тёплым Цусимским течением. Наличие раковин экваториально-тропического вида *Globigerinoides ruber* и субтропической формы *Globorotalia inflata* в осадочных разрезах и степень их участия в ископаемом комплексе фораминифер с позиций актуализма может быть хорошим индикатором проникновения Цусимского палеотечения в исследуемый район.

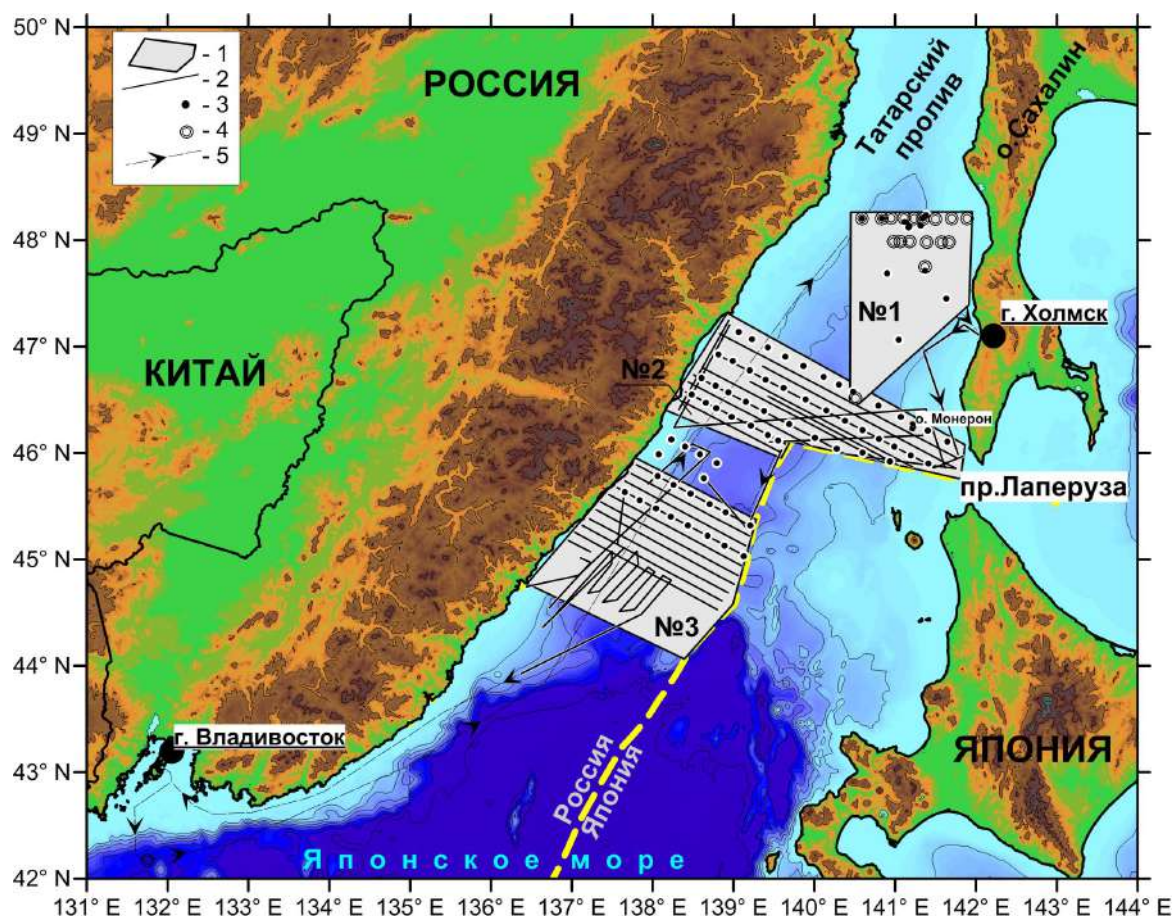


Рис. 1. Карта-схема маршрута плавания и расположение полигонов работ рейса № 85 НИС «Академик М. А. Лаврентьев» 18 мая — 24 июня 2019 г.: 1 — полигоны работ; 2 — профили геофизической съёмки; 3 — станции геологического опробования; 4 — гидрологические станции; 5 — маршрут движения судна.

Полученные данные распределения газогеохимических полей (рис. 2) в водной толще Татарского пролива хорошо коррелируются с аномалиями в донных осадках и с зонами активной флюидной разгрузки.

Доминирующее влияние на возникновение придонных газогеохимических аномалий углеводородных газов имеют плотность распределения и активность подводных геологических источников (разломы, газовые факелы, выходы грунтовых вод, газогидраты, газонасыщенные осадки и др.).

На втором этапе экспедиции исследования проводились в южной части Татарского пролива и Татарском трое. Здесь, на втором и третьем полигонах, выполнялись геофизические, газогеохимические и микробиологические исследования по сети профилей преимущественно северо-западного и юго-восточного направлений (рис. 1). Выполнено более 3604 миль гравиметрической и магнитометрической съёмок, отобрано 50 кернов осадка. Все работы сопровождалось определением температуры и солёности приповерхностного слоя воды и атмосферическими наблюдениями. Эхолотный промер прекратился на третьем полигоне по причине поломки штатного научно-исследовательского эхолота, в результате чего не удалось завершить исследование рельефа дна зоны сочленения глубоководной котловины Японского моря с Татарским троем. В предыдущих экспедициях эхолот неоднократно ломался, но судовладелец не предпринимал никаких мер к его замене.

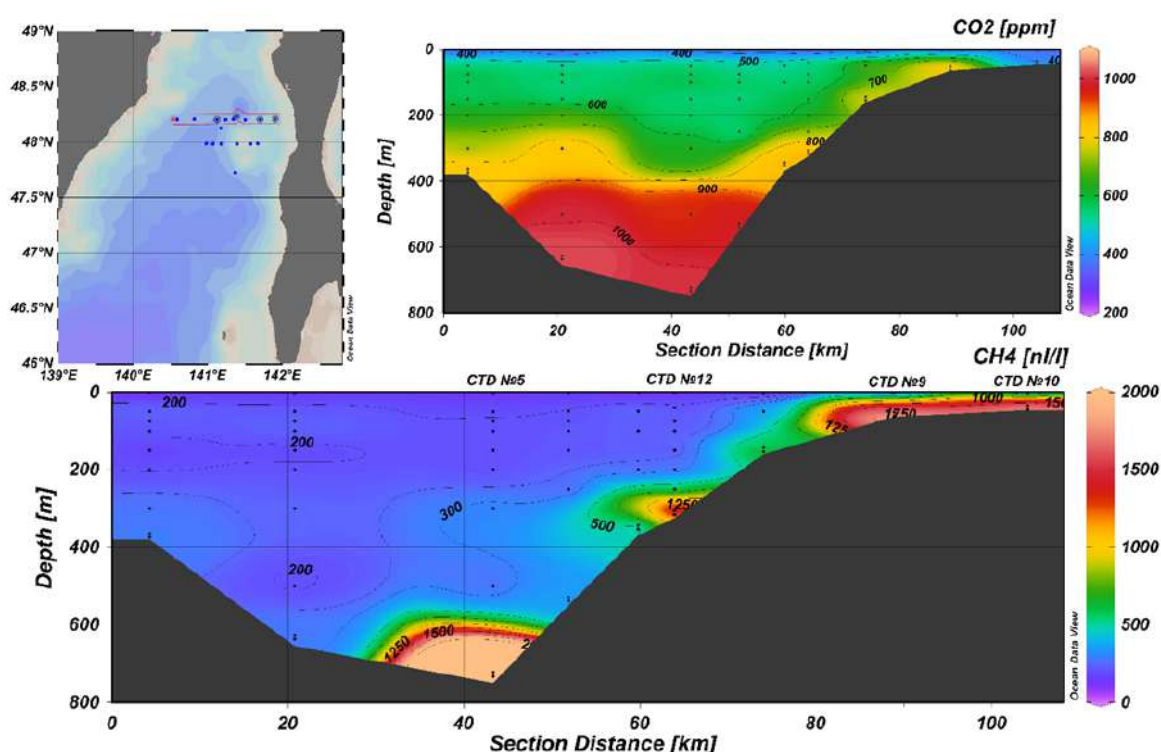


Рис. 2. Распределение метана и углекислого газа на разрезе № 1

Анализ геофизических полей показывает сложную картину глубинного строения исследуемой акватории в сравнении с относительно простым строением рельефа дна (рис. 3). На обоих полигонах как в магнитном, так и в гравитационном поле отчётливо выделяется граница распространения под акваторию Японского моря и Татарского пролива структур Восточно-Сихотэ-Алинского вулканогенного пояса (ВСАВП) [1; 2]. Эту границу контролирует мощная разломная зона, протягивающаяся практически параллельно побережью. В центральной части Татарского трога развиты прогибы фундамента, заполненные осадочными и, судя по положительным аномалиям магнитного поля, вулканогенно-осадочными отложениями. В восточной части акватории в аномалиях геофизических полей отчётливо выделяются структуры Сахалино-Хоккайдского борденленда, Монеронское поднятие и Ребуно-Монеронская разломная зона (рис. 3 А, Б, В). Полученный геофизический материал позволит качественно провести моделирование глубинного строения земной коры акватории, выделить области распространения деструктивных процессов, приведших к образованию Татарского трога, и предложить уточнённую модель тектонического строения исследуемой акватории. На юго-востоке третьего полигона обнаружена новая положительная морфоструктура, вероятнее всего, вулканическая постройка. Поломка эхолота не дала возможности детально закартировать этот объект. Необходимо продолжить исследования в этом районе, провести детальную съёмку и выполнить серию драгирований.

В ходе второго этапа экспедиции был выполнен большой объем геолого-газогеохимического и микробиологического опробования верхней части осадочного чехла. Максимальная глубина отбора осадков на станциях составила 350 см ниже поверхности дна. На судне сделано 2156 газохроматографических определений газов осадков, создана рейсовая коллекция кернов осадка общей длиной 185,5 метров. Получено пространственное распределение метана, этана, этилена, пропана, пропилена, бутана и углекислого газа. Установлена корреляция повышенного содержания газовой составляющей в осадках с областями развития разрывных нарушений, в том числе выделяемых по геофизическим данным,

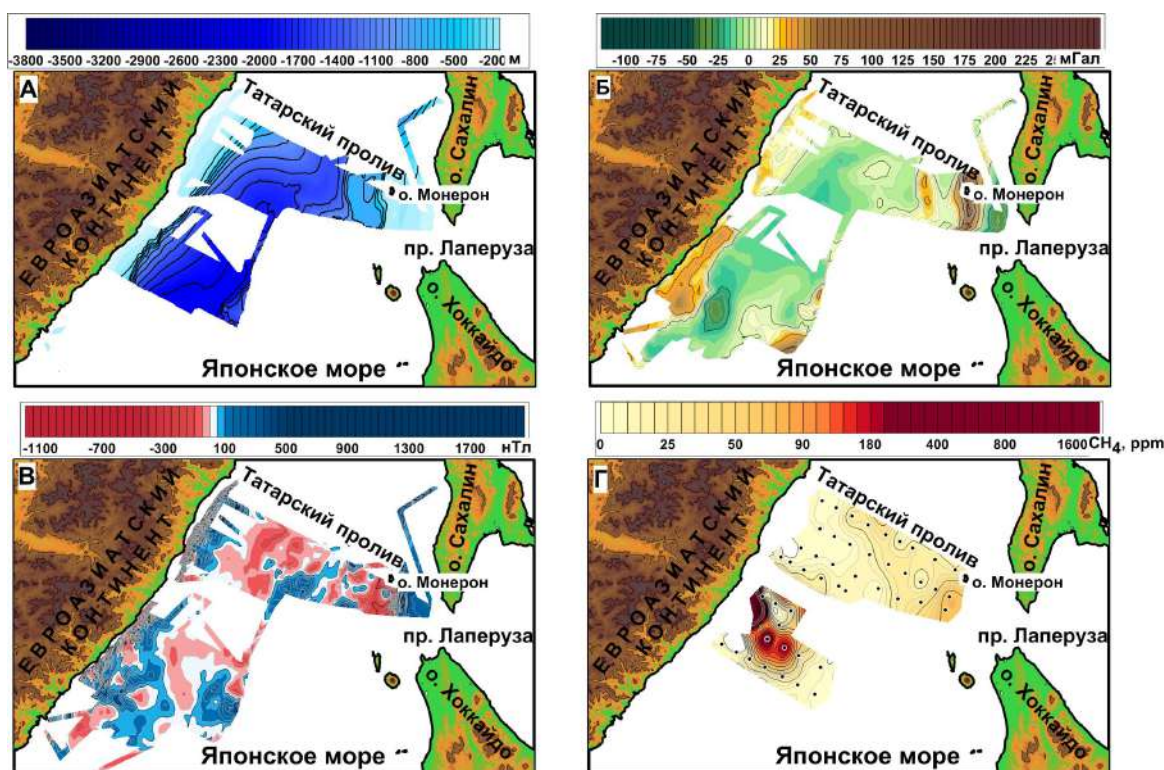


Рис. 3. Результаты геолого-геофизических исследований 85-го рейса НИС «Академик М. А. Лаврентьев»: А — батиметрия; Б — гравиметрия; В — магнитометрия; Г — распределение метана на горизонте 1 метр ниже уровня дна (точками показаны места отбора осадка).

поднятий и крыльевых частях осадочных прогибов. На полигоне № 3 выделена масштабная кольцеобразная структура южнее Самаргинской перспективной нефтегазоносной площади (рис. 3 Г), возможно, что здесь обнаружена новая метанопродуктивная зона, авторы предлагают назвать ее «Кузнецовской перспективной зоной газонакопления». Данный район характеризуется активными геологическими процессами и газогеохимическими аномалиями. В пределах этой площади рекомендуется проведение детализационных работ со сгущением сети опробования донных осадков и верификации с данными сейсмической съёмки.

Полученные данные позволяют говорить о том, что в пределах исследуемой акватории существуют активные флюидопроводящие зоны, формирующие локальные аномалии в верхнем слое осадков. Это значит, что существуют определённые газоматеринские источники этих аномалий, детализация и дальнейшие исследования которых представляют чрезвычайное значение для развития нефтегазового потенциала региона.

Собран представительный массив данных по распределению температуры, солёности и распределению метана в приповерхностном водном слое. Выполнен большой объем измерений распределения атомарной ртути, метана, углекислого газа и паров воды в атмосфере. Таким образом, можно отметить, что в 85-ом рейсе НИС «Академик М. А. Лаврентьев» были успешно проведены комплексные газогеохимические исследования в системе «осадок — вода — атмосфера».

Оценка источников поступления ртути показала, что в основном повышенные концентрации связаны с переносом воздушных масс из региона Жёлтого моря и Северного Китая. В экспедиции зафиксированы аномалии ртути в то время, когда воздушные массы приходили из малонаселённых территорий, также

источником этих аномалий могут быть геологические объекты на дне.

На всех геологических станциях были отобраны образцы осадка для микробиологических исследований (рис. 4). Количество станций, на которых преобладают морские органотрофные бактерии, увеличивается по мере удаления от шельфа о. Сахалин. Метанотрофные и углеводородокисляющие бактерии и относительно высокая скорость биологического окисления метана были обнаружены на станциях, в основном расположенных в середине Татарского пролива и в середине Японского моря. При анализе распределения исследуемых функциональных групп в окисленном слое донных отложений на всех полигонах было выявлено, что с увеличением глубины отбора проб происходит снижение численности органотрофных и нефтеокисляющих бактерий. При этом снижение численности микроорганизмов начинается на глубинах 1500–2000 м.

Большой объем исследований, выполненных экспедицией 85-го рейса НИС «Академик М. А. Лаврентьев», показывает эффективность организации комплексных экспедиций, позволяющих более рационально использовать судовое время по сравнению с узкоспециализированными исследованиями, что соответствует задачам национального проекта «Наука». Полученные данные позволят провести геолого-геофизическое моделирование строения земной коры региона, выполнить тектонические построения, уточнить, а для некоторых районов региона впервые оценить углеводородный потенциал, уточнить сезонную, межгодовую изменчивость и особенности циркуляции вод, оценить антропогенную нагрузку на экосистему исследованных акваторий. Необходимо продолжить исследования в этом регионе. Детально изучить геофизические поля, топографию вулканических гор и возвышенностей северного замыкания Япономорской котловины, выполнить представительный отбор образцов с различных глубинных интервалов. В геофизический комплекс необходимо ввести многолучевое эхолотирование, сейсмические исследования методом преломлённых волн и глубинное зондирование земной коры донными сейсмическими станциями.

Руководящий состав экспедиции и администрация ТОИ ДВО РАН благодарят сотрудников Департамента науки и технологий Минобрнауки России и Тихоокеанскую базу флота ИО РАН за содействие в решении вопросов организации экспедиции. Научный состав экспедиции благодарит капитана дальнего плавания В. Б. Птушкина и экипаж НИС «Академик М. А. Лаврентьев» за помощь в успешном выполнении запланированных в экспедиции исследований.

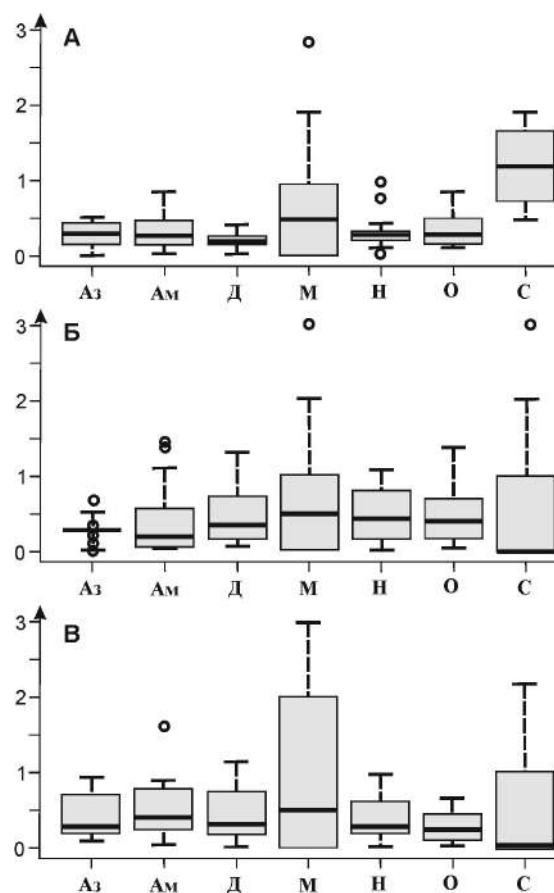


Рис. 4. Численность эколого-трофических групп микроорганизмов на 1, 2 и 3 полигоне в районе исследования: Аз — азотфиксаторы; Ам — аммонификаторы; Д — денитрификаторы; М — метанотрофы; Н — нефтеокисляющие бактерии; О — органотрофы; С — сульфат-редукторы.

Экспедиционные работы проведены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках госзадания ТОИ ДВО РАН: № АААА-А17-117030110032-3, № АААА-А17-117030110033-0, № АААА-А17-117030110035-4, № АААА-А17-117030110042-2, № АААА-А19-119122090009-2, FWMM-2019-0006 и грантов РФФИ 18-05-00153А, 18-35-00047мол_а.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геология дна Японского моря / Берсенев И. И., Леликов Е. П., Безверхний В. Л., Ващенко Н. Г., Съедин В. Т., Терехов Е. П., Цой И. Б. Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1987. 140 с.
2. Геологическая карта Приморского края / Л. Ф. Назаренко. 1:1000000. М. : Мингео СССР, 1986. 1 к.

ГЛУБОКОВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ ИМПЕРАТОРСКОГО ХРЕБТА (СЕВЕРНАЯ ЧАСТЬ ТИХОГО ОКЕАНА): КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫХ АППАРАТОВ

Т. Н. Даутова^{*1}, О. Г. Борзых¹, А. М. Асавин², С. В. Галкин³, А. Ю. Коноплин⁴, П. Е. Михайлик⁵, И. С. Наревич⁶, Н. С. Полоник⁷, А. В. Адрианов¹

¹Национальный научный центр морской биологии им. А. В. Жирмунского ДВО РАН

²Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского

³Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН

⁴Институт проблем морских технологий ДВО РАН

⁵Дальневосточный геологический институт ДВО РАН

⁶Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии

⁷Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН

*tndaut@mail.ru

Впервые проведено комплексное исследование глубоководных экосистем подводных гор Императорского хребта (северо-западная часть Тихого океана), организованное Национальным научным центром морской биологии им. А. В. Жирмунского ДВО РАН (июль — август 2019 г., с использованием телеуправляемого подводного аппарата *Comanche 18*). Получены первые и уникальные данные о вертикальной зональности, особенностях распределения и структуре донных сообществ Императорского хребта. Выявлены организмы-индикаторы уязвимых донных экосистем — глубоководные кораллы *Octocorallia* и губки *Hexactinellidae*, дана их биогеографическая характеристика. Впервые показано изменение фауны кораллов *Octocorallia* в широтном направлении на горах и гайотах хребта, получены новые данные о биогеографической границе в районе Императорского хребта. Собраны уникальные данные о составе и распределении планктона в широком географическом диапазоне. Отобраны и законсервированы 253 пробы уникальных биообразцов для пополнения ЦКП «Морской биобанк». Впервые проведены газогеохимические исследования водной толщи над поднятиями Императорского хребта, выявлены особенности распределения метана по горизонтам глубины. Обнаружены поверхностные и подповерхностные горизонты с повышенным содержанием метана над гайотами Коко, Джингу и Нинтоку с концентрацией метана до 150 нл·л⁻¹. Выявлено значительное биотопическое разнообразие с различными геологическими фациальными характеристиками, которое характеризует плато и склоны гайотов и отражается в неравномерном и сложном распределении отдельных таксонов и биотических комплексов. Продемонстрированы результаты разработки системы интеллектуальной поддержки деятельности операторов телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов в условиях открытого океана.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ ВОДНОЙ СРЕДЫ В ЯПОНСКОМ МОРЕ (57 И 58-Й РЕЙСЫ НИС «АКАДЕМИК ОПАРИН»)

В. Б. Лобанов*, А. Ф. Сергеев, А. А. Воронин, В. А. Горячев, И. И. Горин, Н. В. Шлык, Е. Н. Марьяна, О. С. Попов, В. Цой, С. А. Зверев, Я. Н. Рудых, П. П. Тищенко, А. Н. Чаркин, С. Г. Сагалаев, И. Е. Степочкин, И. В. Корсков, П. Ю. Семкин, А. С. Теличко, И. А. Прушковская, Г. А. Власова, Н. Б. Лукьянова, Е. М. Шкирникова

Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева Дальневосточного отделения РАН

*lobanov@poi.dvo.ru

Экспедиции НИС «Академик Опарин» № 57 и № 58 проводились в осенний период 2019 г. и были организованы Тихоокеанским океанологическим институтом им. В. И. Ильичева Дальневосточного отделения РАН (ТОИ ДВО РАН) с целью исследования изменчивости структуры океанологических полей Японского моря, процессов вертикального обмена и условий вентиляции глубинных и придонных слоёв и их межгодовой изменчивости в связи с изменениями климата и растущей антропогенной нагрузкой, для оценки структуры водных масс в области осенне-зимнего апвеллинга и вихрях синоптического масштаба, изучения связи физических и биологических полей, процессов продукции и деструкции органического вещества, распределения биогенных элементов, естественных и искусственных изотопов, метана и других химических параметров в водах Японского моря.

Работы выполнялись в рамках госзадания ТОИ ДВО РАН на 2019 г. по темам «Исследование основных процессов, определяющих состояние и изменчивость океанологических характеристик дальневосточных морей и северо-западной части Тихого океана» (№ 0271-2016-0005) и «Влияние природных и антропогенных факторов на биогеохимические процессы и состояние биоты в морских экосистемах» (№ 0271-2016-0006), приоритетной программе ДВО РАН «Дальний Восток» (грант 18-1-10 «Синоптическая и мезомасштабная динамика вод и её связь с биогеохимическими и продукционными процессами в дальневосточных морях России, северо-западной части Тихого океана и Восточной Арктике»), а также международным программам «Исследование окраинных морей Азии (CREAMS)» Северотихоокеанской организации по морским наукам (PICES) и «Глобальная система наблюдения океана для региона Северо-Восточной Азии (NEAR-GOOS)» ВЕСТПАК МОК ЮНЕСКО (IOC Sub-Commission for the Western Pacific).

Первая экспедиция (рейс № 57) проводилась в период 02–21 октября 2019 г. (рис. 1а) и была направлена на изучение синоптической динамики вод, связанной с осенней перестройкой структуры поля течений северной части Японского моря, обусловленной началом конвективного охлаждения, развитием осеннего апвеллинга, формированием вихрей синоптического масштаба. Для решения этих задач в экспедиции выполнялась экспресс-съёмка: CTD-зондирование до глубины 1000 м, отбор проб на изотопы и другие химические и биологические параметры, а также постановка автономных измерителей течений и океанографических параметров на трёх автономных буйковых станциях (АБС). В экспедиции было выполнено 210 станций, отобраны поверхностные пробы на изотопы радия (49 проб), цезия и бериллия (50 проб), трития (21 проба). Выполнены три станции с отбором проб на изотопы с различных глубин. Проведены оптические и гидроакустические измерения.

В задачи второй экспедиции (рейс № 58), организованной совместно с Сеульским национальным университетом, входила крупномасштабная комплексная съёмка западной и северной частей моря в рамках международных программ, включавшая мониторинговые разрезы CREAMS и NEAR-GOOS (рис. 1b). Экспедиция проводилась в период 24 октября — 24 ноября 2019 г. СТД-зондирование и отбор проб проводились по всей толще моря до глубин 3500 м. Было выполнено 42 станции с СТД-зондированием, в том числе 39 станций с отбором проб воды (1741) на растворённый кислород, рН, щёлочность, биогенные элементы, изотопы радия, растворённый органический и неорганический углерод, радиоуглерод, тяжёлые металлы, редкоземельные элементы, изотопы тория, инертные газы, хлорофилл *a*, первичную продукцию, бактериальную биомассу и другие параметры.

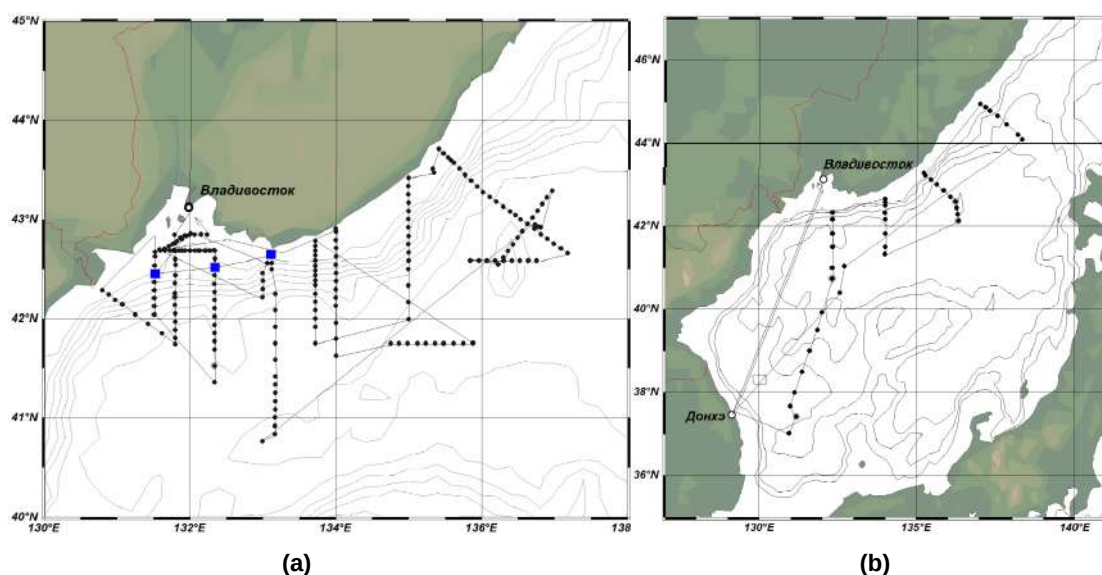


Рис. 1. Схема работ экспедиций рейсов № 57 (a) и № 58 (b) НИС «Академик Опарин» в Японском море в октябре — ноябре 2019 г. Чёрными точками показано положение океанографических станций, синими квадратами — положение АБС

Основные предварительные результаты экспедиций:

1. Показано, что быстрое охлаждение поверхностного слоя северной части Японского моря в осенний период связано как с отдачей тепла в атмосферу, так и с развитием регионального и локального апвеллингов. Региональный апвеллинг связан с развитием циклонического круговорота, локальные апвеллинги генерируются в прибрежной зоне ветрами западных направлений, а также динамикой синоптических вихрей.
2. Гидрологические и изотопные данные подтверждают формирование антициклонического вихря в северо-западной части моря за счёт выноса шельфовых вод залива Петра Великого летней модификации. При этом ключевую роль играет развитие апвеллинга в восточной части залива. Определена вертикальная структура зоны апвеллинга.
3. Подтверждено формирование в осенне-зимний период северо-западной ветви Цусимского течения, переносащего на подповерхностных горизонтах (30–100 м) воды повышенной солёности к побережью Приморского края, в том числе в залив Петра Великого.
4. Съёмки четырёх антициклонических вихрей показали наличие в них нескольких ядер захваченных вод. Причём вихри в западной части района переносят в ядрах воду пониженной солёности, а в восточной — повышенной, происхождение которой связано с Цусимским течением.

5. В северной части моря над подводным хребтом Богорова впервые установлен подъём вод, распространяющийся до поверхностного слоя и обусловленный циклонической завихренностью.
6. Подтверждены продолжающиеся с 1995 по 2019 г. климатические изменения в водной толще Японского моря, в частности, идущее со скоростью около $0,002\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{год}^{-1}$ потепление придонного адиабатического слоя и снижение содержания кислорода.
7. Впервые в верхней части континентального склона Восточного Приморья, на глубине 540 м, обнаружен газовый факел размером более 300 м. До настоящего времени газовые факелы в российской экономической зоне Японского моря регистрировались только на шельфе западной части залива Петра Великого и в Татарском проливе вблизи Сахалина. Газовые факелы на больших глубинах позволяют предполагать наличие залежей газогидратов в донных отложениях.
8. Установлено замедление снижения в поверхностной воде Японского моря концентраций трития и выход его содержания на уровень 1–1,5 тритиевых единиц, что свидетельствует об окончании эпохи поступления бомбового трития периода термоядерных испытаний из стратосферы в нижние слои атмосферы и ее очищения от данного искусственного радиоактивного изотопа.
9. Вслед за японскими исследователями обнаружено повторное проникновение в Японское море следовых количеств радиоизотопов цезия-134 после аварии на АЭС «Фукусима». Следствием поступления загрязнённых вод из района аварии стало также повышение фоновых концентраций цезия-137 (до $1.5\text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$) в северо-восточной части Японского моря по сравнению с другими районами моря. Кроме того, установлено глубокое проникновение поверхностного цезия-137 в антициклоническом вихре в Центральной котловине.
10. Впервые в северо-западной части Японского моря были измерены долгоживущие изотопы радия (^{228}Ra , ^{226}Ra). В результате установлено, что поверхностные воды данного района сильно обогащены изотопами ^{228}Ra в сравнении с юго-восточной частью моря, где ведутся регулярные наблюдения нашими японскими коллегами. Анализ соотношения изотопов радия позволил определить происхождение вод, переносимых антициклоническими вихрями.
11. Получены новые данные о гидрохимическом режиме вод северо-западной части Японского моря в осенний сезон. В поверхностном слое (до 500 м) пространственная изменчивость гидрохимических параметров определяется гидрологическими процессами. В фотическом слое происходит формирование органического вещества и фотолиз, что в совокупности приводит к падению концентраций биогенных элементов практически до нуля и нарушению стехиометрических соотношений Редфилда. Область глубин от 500 до 2500 м характеризуется минимальными значениями pH и концентрациями O_2 , которые возрастают при дальнейшем увеличении глубин моря.
12. Собран массив новых подспутниковых гидробиологических и гидрооптических измерений в Японском море, в водах различного оптического типа, в которых происходят различные механизмы формирования цвета морской поверхности за счёт непостоянных соотношений основных оптически активных компонентов морской среды и за счёт различной стратификации вод.
13. Проведены акустические исследования структуры и пространственного распределения мелкомасштабных неоднородностей с высоким пространственным и временным разрешением. Получено более 200 записей гидроакустических измерений. По окончании обработки предполагается получить данные об особенностях структуры и пространственном распределении мелкомасштабных неоднородностей в обследованной области Японского моря.

14. В экспедиции проводились теоретические и практические занятия со студентами кафедры океанологии и гидрометеорологии Дальневосточного федерального университета в рамках программы «Тихоокеанский плавучий университет». Студенты были прикреплены к отрядам, ознакомлены с правилами техники безопасности, устройством судна, принципами работы экспедиционных приборов и оборудования. За время стажировки студенты приняли участие во всех видах экспедиционных исследований, прослушали подготовленные сотрудниками ТОИ ДВО РАН специальные лекции. По результатам стажировки студенты подготовили отчёты.

ПЕРВАЯ КОМПЛЕКСНАЯ РОССИЙСКО-ВЬЕТНАМСКАЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ И ОКЕАНОГРАФИЧЕСКАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ В ЮЖНО-КИТАЙСКОМ МОРЕ (88-Й РЕЙС НИС «АКАДЕМИК М. А. ЛАВРЕНТЬЕВ», 27 ОКТЯБРЯ — 08 ДЕКАБРЯ 2019 Г.)

Р. Б. Шакиров^{1*}, Do Huy Cuong², А. И. Обжиров¹, Nguen Trung Thanh², М. Г. Валитов¹, Н. С. Ли¹,
А. А. Легкодимов¹, В. Ю. Калгин¹, А. И. Еськова¹, З. Н. Прошкина¹, Ю. А. Телегин¹, Le Duc Anh²,
А. В. Стороженко¹, М. В. Иванов¹, Le Duc Luong⁴, С. П. Плетнев¹, В. Т. Съедин¹, Д. А. Швалов¹,
Н. А. Липинская¹, М. А. Бовсун^{1,3}, Д. С. Максеев¹, Dang Hoai Nhon⁵

¹Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН

²Институт морской геологии и геофизики Вьетнамской академии наук и технологий, Вьетнам

³Дальневосточный федеральный университет, Школа естественных наук

⁴Институт геологических наук Вьетнамской академии наук и технологий, Вьетнам

⁵Институт морских ресурсов и окружающей среды, Вьетнам

*ren@poi.dvo.ru

В 2019 г., в «перекрёстный» год России и Вьетнама, Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН (ТОИ ДВО РАН) провёл комплексную геолого-геофизическую и океанографическую экспедицию в Южно-Китайском море, первую за последние 30 лет. Организация экспедиции заняла около 2 лет. Она была проведена в осенне-зимний переходный период (27.10–08.12.2019 г.). Это, с одной стороны, осложнило выполнение работ из-за неблагоприятных погодных условий, а с другой — дало возможность выявить особенности межсезонной изменчивости параметров окружающей среды привьетнамского шельфа и склона до глубин моря 2400 м. Основание для проведения экспедиции: план экспедиционных исследований РАН на 2019 г., разрешение Министерства природных ресурсов и окружающей среды Социалистической Республики Вьетнам (СРВ), разрешение Министерства иностранных дел Российской Федерации, план-программа экспедиционных исследований, приказ на экспедицию ТОИ ДВО РАН, дорожная карта совместных морских исследований ДВО РАН и Вьетнамской академии наук и технологий (ВАНТ), соглашение на проведение совместной экспедиции ТОИ ДВО РАН и Института морской геологии и геофизики ВАНТ.

В последние годы научные мореведческие организации Вьетнама предпринимают значительные усилия для развития морских исследований, направленных на поиски и оценку минеральных ресурсов, включая альтернативные виды (газогидраты). Министерство науки и технологий и Министерство природных ресурсов и окружающей среды СРВ проводят конкурсы крупных национальных проектов. Сложность выполнения этих проектов для вьетнамских коллег заключается в отсутствии научно-исследовательского флота, недостатке оборудования и методов исследования. В этих условиях сотрудничество с российскими мореведческими научно-исследовательскими институтами и участие в морских экспедициях на судах ДВО РАН становится оптимальным решением для реализации национальных научных интересов Вьетнама на море и возобновления совместных регулярных морских исследований. 88-й рейс НИС «Академик М. А. Лаврентьев» стал важным событием для ДВО РАН и ВАНТ на пути реализации совместных научных идей в области морской геологии и геофизики, океанографии и окружающей среды в акватории Вьетнама.

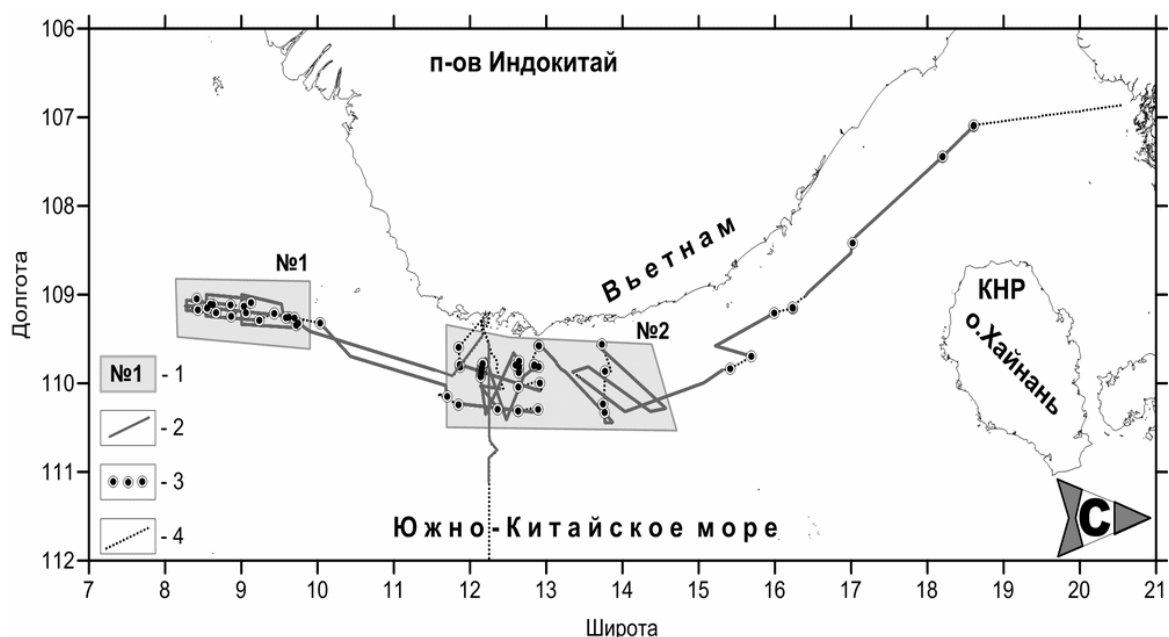


Рис. 1. Карта экспедиционных исследований в Южно-Китайском море, 88-й рейс НИС «Академик М. А. Лаврентьев», 27 октября — 08 декабря 2019 г.



Рис. 2. Научный состав экспедиции и экипаж 88-го рейса НИС «Академик М. А. Лаврентьев»



Рис. 3. Встреча экспедиции в порту Нячанг

Цели экспедиции — изучение особенностей геологического строения и геофизических полей континентального шельфа и склона Вьетнама, исследование океанографических, газогеохимических, геомикробиологических, гидрооптических, атмосферических, гидроакустических характеристик толщи вод и осадочных отложений, поиск индикаторов минеральных ресурсов, палеогеографические и экологические исследования.

В экспедиции участвовали специалисты ТОИ ДВО РАН (24 сотрудника, из них: 3 доктора геолого-минералогических наук, 6 кандидатов наук, 4 аспиранта, 1 студент Дальневосточного федерального университета) и 10 сотрудников научных организаций Вьетнама (8 специалистов — представители научных организаций ВАНТ: Института морской геологии и геофизики, Института геологических наук, Института морских ресурсов и окружающей среды, Института океанографии, 2 — сотрудники Центра планирования и исследования морских ресурсов Министерства природных ресурсов СРВ и Центра мониторинга морской окружающей среды ВМФ СРВ). В составе экспедиции было 70 % молодых учёных, некоторые впервые приняли участие в морских работах.

Перед началом работ экспедиция посетила порт Нячанг, где на борт были приняты вьетнамские коллеги. Встреча в Нячанге была организована на традиционно высоком уровне: присутствовали представители прессы и телевидения Вьетнама, возглавлял церемонию проф. Нинь Кэй Бан (Ninh Khac Ban), руководитель международного отдела Вьетнамской академии наук и технологий.

В соответствии с разрешением, работы были сосредоточены между границей 12-мильной зоны СРВ и спорной границей между СРВ и КНР. Изначально в план исследований были включены глубоководные районы до границы 200-мильной зоны Вьетнама, но в силу геополитических факторов район работ был изменён в соответствии с равноудалённой позицией России относительно территориальных споров в Южно-Китайском море.

Несмотря на сложные гидрометеорологические условия (сильный ветер и течение, волнение до 4–6 баллов), слаженная работа научного состава экспедиции и экипажа позволила выполнить боль-

шой объём комплексных исследований всего за 18 суток (на штормование было затрачено 0,5 суток, на стоянки в портах — около 5 суток). Работу выполняли с одновременным соблюдением плана исследований и лавированием по краям тайфунов, которые в этот сезон шли один за одним со стороны Филиппинского моря. За время экспедиции пройдено более 4800 миль, на протяжении рейса проведены измерения гидролого-гидрохимических параметров (температура, электропроводность, интенсивность флуоресценции, растворённый кислород) в поверхностном слое моря с использованием проточной системы. Выполнялись попутные гравиметрические, гидрологические, гидрооптические, газогеохимические и метеорологические наблюдения, оценён поток метана в атмосферу.



Рис. 4. Под вьетнамским флагом перед портом Нячанг

За время рейса выполнено более 2197 погонных миль акустического зондирования толщи вод и батиметрической съёмки дна (н. с. А. В. Стороженко, ТОИ ДВО РАН), 2326 миль гравиметрической съёмки, 1559 миль магнитометрической съёмки (руководитель геофизического отряда, заведующий лабораторией гравиметрии, к. г.-м. н. М. Г. Валитов).

Были проведены попутные исследования газогеохимических, гидрометеорологических, гидроакустических, геофизических и гидрооптических параметров в Японском и Восточно-Китайском морях.

Геологическое опробование донных осадков успешно произведено на 65 станциях, на глубинах от 50 до 2400 м. Поднято 49 кернов донных отложений общей длиной 110,25 м. Отобрано и проанализировано 56 шлихов шлама керна осадочных отложений (исполнитель — аспирант 1 года В. Ю. Калгин, ТОИ ДВО РАН). В экспедиции участвовали 4 сотрудника новой лаборатории комплексных исследований окружающей среды и минеральных ресурсов, созданной в ТОИ ДВО РАН в рамках нацпроекта «Наука».

За время экспедиции (более 6400 км маршрута) с помощью лазерных газоанализаторов с горизонта над уровнем моря 14 м получено 5895 пятиминутных измерений по углекислому газу и 6183 пятиминутных измерений по метану, с газоанализатора на уровне 7 м — 2754 измерения по углекислому газу и 3042 измерения по метану. Эти исследования проведены в сотрудничестве с кафедрой почвоведения Школы естественных наук ДВФУ (зав. кафедрой к. б. н. О. В. Нестерова). В рейсе непосредственно измерениями и их обработкой занималась м. н. с. лаборатории газогеохимии ТОИ ДВО РАН, магистрант второго курса Мария Бовсун. Мария в 2019 году более 100 суток провела в морских экспедициях ТОИ ДВО РАН, участвовала в экспедиции Национального научного центра морской биологии им. А. В. Жирмунского ДВО РАН на Императорский хребет.

Выполнено 40 гидрологических станций с дублированием (руководитель отряда н. с. А. А. Воронин), отобраны пробы на микробиологический, газогеохимический, химический анализы (методом лазерно-искровой спектроскопии), полиароматические углеводороды и определены гидрооптические компоненты. Выполнено 24 станции зондирования профилографом SBE 19 plus с определением флуоресценции и концентрации рассеянного органического вещества в верхнем 100-метровом слое толщи вод (к. ф.-м. н. А. В. Буланов).



Рис. 5. Отбор газогеохимических проб из керна осадочных отложений

В сложных условиях экспедиции оператором сразу трех лебедок работал аспирант первого года лаборатории газогеохимии ТОИ ДВО РАН Д. С. Максеев, который за 2018–2019 гг. участвовал в семи научных экспедициях.

Отдельно стоит отметить газогеохимический отряд, который безостановочно выполнял аналитические работы, начиная с выхода из Владивостока и вплоть до возвращения в родной порт, это м. н. с. Д. А. Швалов и вед. инж. Е. В. Лифанский.

В качестве предварительных основных научных результатов экспедиции можно выделить следующие: обнаружены признаки новых зон углеводородных скоплений, получены доказательства наличия минеральных индикаторов твёрдых полезных ископаемых в шельфовых отложениях, выявлена зона формирования скоплений железо-марганцевых корок с содержанием железа до 90 %.

Были получены доказательства уникальных свойств глубоководных мелкодисперсных карбонатных осадков, что предварительно позволяет отнести их к самостоятельному виду минеральных ресурсов континентального шельфа и склона Вьетнама. Впервые в Южно-Китайском море найден уникальный, сложный по химическому составу органоминеральный агрегат (рис. 8) в зоне метановой аномалии, который отражает специфические условия аутигенной минерализации на склоне бассейна Фухань. В этом же керна осадка с икаитом были обнаружены сразу три группы бактерий: метанотрофы, нефтеокисляющие и сульфатредукторы, а также аномалии метана и сероводорода.

Были собраны шлихи с индикаторами металлической и другой минерализации, которые в настоящее время уже находятся в аналитических лабораториях.

Выявлены особенности потоков метана и ртути в атмосферу, обнаружены культуры метаноокисляющих, нефтеокисляющих и сульфатредуцирующих бактерий.

Были получены новые данные об аномалиях гравитационного и магнитного полей вдоль шельфа и склона Вьетнама, выявлено сложное тектоническое строение осадочного бассейна Фухань. В осадочных отложениях на разных горизонтах зафиксированы проявления седиментологических процессов

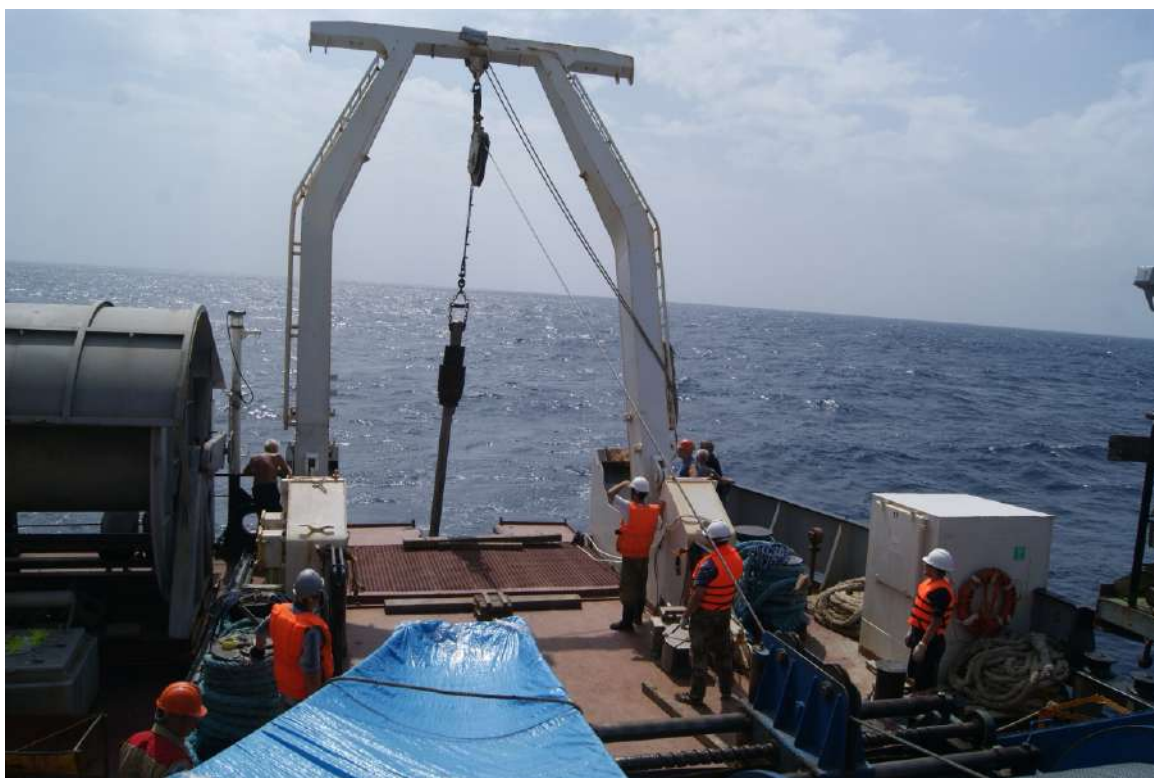


Рис. 6. Подъем колонкового гравитационного пробоотборника с керном осадочных отложений на борт судна

и явлений, в кернах осадков зафиксировано свидетельство наличия гипоксидной обстановки на материковом склоне Центрального Вьетнама, раскрыты новые особенности палеогеографии шельфа и склона СРВ (например, в Тонкинском заливе обнаружены латеритные осадки древнего берега), составлен фотокаталог и описание кернов осадков. В южной части моря обнаружен разлом, по которому мигрируют к поверхности дна метан и сероводород. Сероводород был также зафиксирован в отдельных кернах осадка в центральном и северном районах.

По сравнению с Японским и Охотским морями можно отметить, что зоны активной дегазации дна на привьетнамском шельфе и склоне имеют локальный характер распространения, хотя интенсивность газогеохимических аномалий в них сопоставима с аналогичными зонами в дальневосточных морях. В толще вод впервые найдены аномальные поля метана (до 4000 нл·л⁻¹), которые сравнимы с аномалиями на нефтегазоносном шельфе и газогидратоносном склоне о-ва Сахалин.

В южной, привьетнамской, части моря, в газе осадков обнаружены высокие концентрации метана (от 0,25 мл·дм⁻³ до 0,015 мл·дм⁻³). Эти концентрации превышают фоновые в 10–100 раз, что свидетельствует о повышенном насыщении метаном верхних слоёв донных осадков. Изучение в рейсе микробной активности поможет объяснить генезис метана — микробный и (или) термогенный, что обусловлено подтоком метана из глубоких горизонтов. Микробиологические и газовые анализы еще не закончены, источники метана будут детально рассмотрены после окончания лабораторных работ в береговых условиях. Кроме метана в газе донных осадков встречены гомологи метана (этан, пропан, бутан), углекислый газ. Весь комплекс газов является важным индикатором генезиса газа и геологических процессов в изученной части моря.

Результаты измерений атомарной ртути в Южно-Китайском море (н. с. М. В. Иванов, лаборатория геохимии осадочных процессов ТОИ ДВО РАН) на различных полигонах показывают, что содержание





Рис. 8. Аутигенный органоминеральный агрегат, фото под бинокуляром В. Ю. Калгина

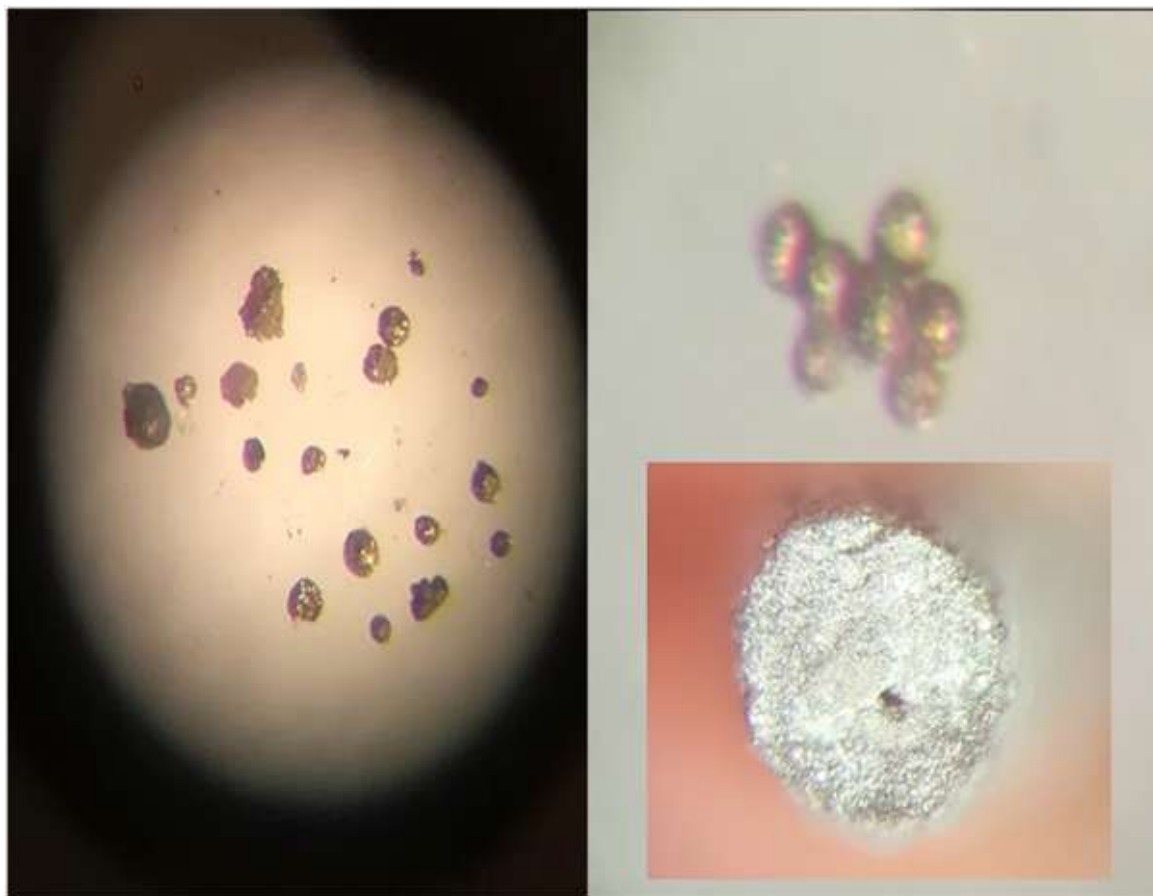


Рис. 9. Проявления форм аутигенной сульфидной минерализации, найденной повсеместно в осадочных отложениях, фото В. Ю. Калгина



Рис. 10. Образование биопленок нефтеокисляющими бактериями из осадочных отложений, фото А. И. Еськовой

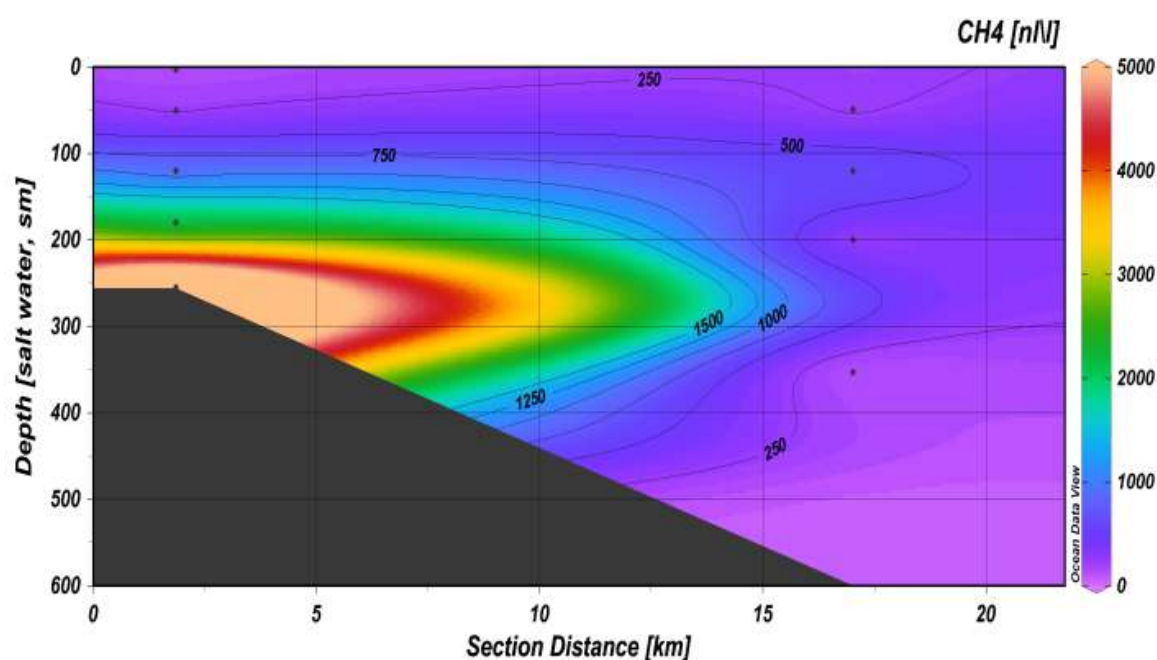


Рис. 11. Аномалия метана в толще вод шельфа и склона Южного Вьетнама

ртути находится в пределах регионального фона и составляет около $2\text{--}3 \text{ нг}\cdot\text{м}^{-3}$. Незначительное увеличение фона зафиксировано в прибрежной части района работ. При измерении потока ртути с помощью оригинальной камеры на поверхности воды содержание Hg возрастало до $4\text{--}6 \text{ нг}\cdot\text{м}^{-3}$. Здесь выявлена зависимость от температуры воды и воздуха: с повышением температуры растёт и уровень содержания ртути. В порту Хайфон (Вьетнам) содержание ртути резко возросло до $30 \text{ нг}\cdot\text{м}^{-3}$, что указывает на антропогенную составляющую. В целом содержание ртути не превышало предельно допустимую концентрацию ($300 \text{ нг}\cdot\text{м}^{-3}$).

В экспедиции был получен ценный массив данных по распределению температуры, солёности, кислорода, мутности, флуоресценции и растворённого органического вещества в толще вод, охарактеризована гидрологическая структура вод привьетнамского шельфа и склона в осенне-зимний период.

Гравимагнитная съёмка в центральной и южной частях шельфа и материкового склона Вьетнама дополнила геофизические данные, полученные в 80-х–90-х годах прошлого столетия, детализированы геофизические аномалии.

В экспедиции выполнялось непрерывное акустическое зондирование морского дна (эхолотирование) и исследование обратного рассеяния звука в морских водах, что дало возможность уточнить рельеф в районе исследований, обеспечить гравимагнитную съёмку данными о профиле дна и получить уникальный материал для акустических исследований гидрологических, гидродинамических и биологических характеристик толщи вод.

В ходе экспедиции был проведён оригинальный эксперимент: в глубоководный осадок был посажен репчатый лук. Результат оказался интересным: лук дал ростки.

Во время экспедиции коллеги из Вьетнама проявили себя как отличные специалисты и надёжные товарищи, которые работали в одном режиме с российскими участниками. Коллеги также представляли собой коллектив молодых учёных, некоторые из которых уже давно сотрудничают с ТОИ ДВО РАН по сериям локальных грантов и совместных публикаций. Руководителем группы вьетнамских учёных был д-р Нгуен Чун Тхань (Nguyen Trung Thanh), седиментолог. Под его руководством вьетнамской груп-

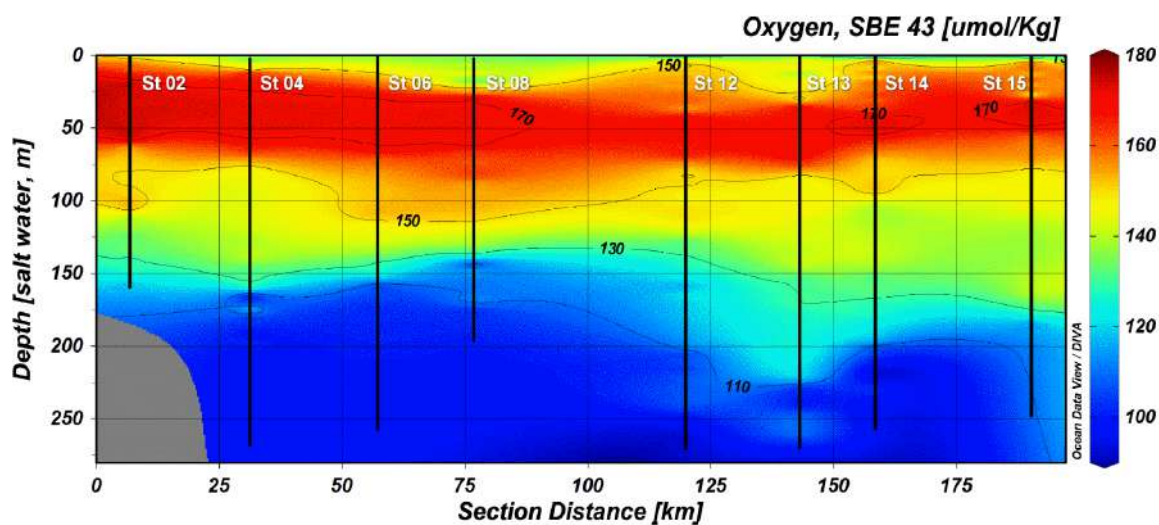


Рис. 12. На гидрологических станциях выявлено относительно высокое содержание кислорода при довольно высоких температурах толщи вод. Н. А. Липинская, А. А. Воронин

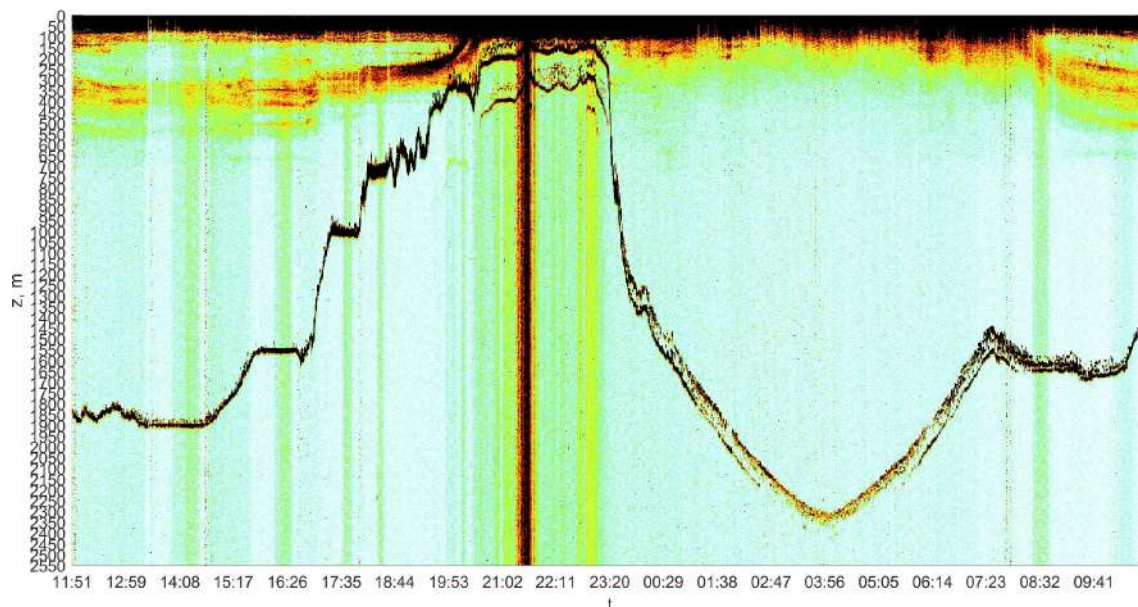


Рис. 13. Суточные вариации звукорассеивающего слоя в Южно-Китайском море. Руководитель гидроакустического отряда А. В. Стороженко



Рис. 14. Экспедиционный эксперимент: репчатый лук в глубоководном осадке, отобранном на привьетнамском континентальном шельфе



Рис. 15. В ходе экспедиции из осадочных отложений были также отобраны биологические образцы, фрагменты и целые экземпляры различных раковин и моллюсков



Рис. 16. Совместная группа на отборе осадочных отложений с помощью коробчатого пробоотборника

пой была отобрана представительная коллекция проб осадочных отложений, которая является очень ценной для них. Дело в том, что получать хорошие керны осадочных отложений в глубоководных районах для вьетнамских коллег все ещё является крайне сложной задачей ввиду отсутствия специального научного судна, соответствующего оборудования и опыта. Полученные образцы позволят коллегам детально исследовать особенности осадконакопления, минералогии, геохимии и палеоокеанологии.

Коллеги из Вьетнама были включены в отряды, соответствующие их специальностям. Отдельно хотелось бы отметить научного сотрудника Института морской геологии и геофизики Ле Дык Аня (Le Duc Anh), который, имея за плечами Уральский горный университет и десятилетний стаж совместной работы, обеспечивал взаимодействие российской и вьетнамской групп, а также выполнял геологические работы наравне с сотрудниками ТОИ ДВО РАН.

Важно отметить, что коллеги из Вьетнама впервые участвовали в экспедиционных исследованиях на научном судне такого класса. Для них экспедиция стала научно-практической школой. Например, молодой специалист Ле Дык Лен (Le Duc Luong) работал вместе с А. И. Обжировым по отбору проб осадков для извлечения из них газа на специальной установке. За время экспедиции он изучил метод и мог уже выполнять исследования самостоятельно. Анализ извлечённых из осадков газов показал высокое содержание метана, что является поисковым признаком наличия в недрах углеводородов.

Экспедиция завершилась 25 ноября в п. Хайфон, где команду встретили делегации ДВО РАН во главе с академиком В. И. Сергиенко и ВАНТ во главе с президентом, проф. Чау Ван Минем (Chau Van



Рис. 17. Группа сотрудников по извлечению газа (дегазации) из донных осадков и воды (слева направо: Анатолий Обжиров, Ле Дык Лен, Юрий Телегин), на столе расположены дегазационные установки



Рис. 18. Вьетнамская команда активна и на работе, и за столом



Рис. 19. Памятная фотография на встрече экспедиции в порту Гринпорт, г. Хайфон

Minh). Объединённая делегация посетила научно-исследовательское судно, познакомилась с членами экспедиции, приняла участие в обсуждении результатов. Участникам экспедиции была подарена картина с памятной надписью, выполненная лаком в традиционном стиле и изображающая старый город в Ханое. Участники экспедиции подарили президенту ВАНТ образцы глубоководного карбонатного тонкодисперсного осадка, который, по предварительным тестам, является полезным веществом и, вероятно, может применяться в народном хозяйстве после соответствующих анализов и сертификации как бальнеологическое, косметическое и/или минеральное сырьё.

В здании Президиума ВАНТ было проведено совещание, участники экспедиции доложили основные результаты совместной работы, которые были высоко оценены руководством ДВО РАН и ВАНТ.

В экспедиции возникали и форс-мажорные ситуации. Так, во время работ на винт намоталась рыболовная сеть — угроза всей экспедиции. Но в экипаже были опытные пловцы-дайверы Андрей Стороженко и Илья Фулосан (третий механик), которые срезали сеть и освободили винт.

Экспедиция имеет значительный социальный эффект, особенно для коллег из СРВ. Например, в экспедициях вьетнамских коллег-геологов женщины ранее никогда не участвовали. Причины приводились разные, вплоть до самых курьёзных. Но после нашего рейса, в котором активно участвовали российские девушки-учёные, руководители с вьетнамской стороны пообещали, что в следующий раз будут задействованы представительницы прекрасного пола из Вьетнамской академии наук и технологий. В редкое свободное время (работы шли круглосуточно) участники экспедиции занимались спортом, пели песни под гитару, Анатолий Иванович Обжиров играл на мандолине, Алексей Буланов вел кружок вальса и сальсы.

Одновременно с выполнением морских работ проведены сопровождающие береговые геологические (ст. инж. лаборатории газогеохимии ТОИ ДВО РАН Т. С. Якимов) и магнитотеллурические исследования (руководитель — зав. лабораторией электрических и магнитных полей ТОИ ДВО РАН к. г.-м. н. В. М. Никифоров). Якимовым Т. С. были исследованы ряд интрузивных гранитоидных комплексов и русла рек на побережье вдоль маршрута экспедиции в рамках проекта ДВО РАН — ВАНТ.

По результатам экспедиции готовится серия статей и монография, разработан план второй совместной геолого-геофизической экспедиции на 2022 год.

В качестве пожеланий к техническим условиям проведения экспедиций на НИС «Академик М. А. Лаврентьев» необходимо отметить, что глубоководный эхолот Elac на судне неисправен и, по заключе-



Рис. 20. Президент Вьетнамской академии наук и технологий проф. Чау Ван Минь, д. г.-м. н. Р. Б. Шакиров, капитан дальнего плавания С. С. Сляров



Рис. 21. Участники совещания в конференц-зале Президиума Вьетнамской академии наук и технологий, фото М. Б. Штец



Рис. 22. Андрей Стороженко и Илья Фулосан выполняют погружение для освобождения винта от рыболовной сети



Рис. 23. Участниками экспедиции был разработан логотип совместной экспедиции, автор — к. г.-м. н. Ю. А. Телегин, руководитель отряда газогеохимии

нию судовладельца, не подлежит ремонту. Наличие глубоководного многолучевого эхолота на научно-исследовательских судах является стандартным, штатным условием проведения экспедиций. Исключительно силами научного коллектива (лаборатория гидрофизики ТОИ ДВО РАН, зав. лабораторией д. ф.-м. н. В. А. Буланов) в кратчайшие сроки был собран аппаратно-программный комплекс на основе эхолота Furuno FCV-1150 (ТОИ ДВО РАН), подсоединённого к излучателю эхолота Elac, что обеспечило безопасность работ, выполнение батиметрических исследований и дало возможность проводить работы на глубоководных станциях.

Стоит отметить низкое качество топлива, поставляемого по госзакупкам, это приводит к аварийным остановкам главного двигателя. Снабжение и качественное техническое обслуживание морских научных экспедиций — залог безопасности мореплавания. Финансирование плановых экспедиций должно быть своевременным, снабжение научных судов и оборудования — приоритетным, а контроль их технического состояния — непрерывным и осуществляться на высоком профессиональном уровне.

Научный состав благодарит капитана дальнего плавания С. С. Складорова и экипаж за помощь в успешном выполнении запланированных в экспедиции исследований, помощника капитана по радиоэлектронике О. Н. Струку — за своевременное предоставление метеоданных, ТБФ ИО РАН — за оперативное согласование выполнения работ.

Следует отметить, что на судне исправно работала система кондиционирования: температурные условия для участников экспедиции и оборудования были оптимальными. Отдельная благодарность ТБФ ИО РАН и Минобрнауки РФ за обеспечение рейса и содействие в решении вопросов организации экспедиции. Особая благодарность МИД РФ, руководству Вьетнамской академии наук и технологий и ДВО РАН, Министерству природных ресурсов и соответствующим ведомствам Социалистической Республики Вьетнам за оперативную работу по оформлению документов и процедур, необходимых для проведения экспедиции.

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ № 56 В ОХОТСКОЕ МОРЕ И СЕВЕРО-ЗАПАДНУЮ ЧАСТЬ ТИХОГО ОКЕАНА НА НИС «АКАДЕМИК ОПАРИН» (ИЮНЬ — АВГУСТ 2019 Г.)

А. Н. Юрченко*

Тихоокеанский институт биоорганической химии им. Г. Б. Елякова

*yurchant@ya.ru

Научно-исследовательская экспедиция № 56 в Охотское море и северо-западную часть Тихого океана вблизи Курильских островов на борту НИС «Академик Опарин» была организована и проведена Тихоокеанским институтом биоорганической химии им. Г. Б. Елякова (ТИБОХ) ДВО РАН совместно с Национальным научным центром морской биологии им. А. В. Жирмунского (ННЦМБ) ДВО РАН в период с 23 июня по 7 июля и с 25 июля по 26 августа 2019 г. Общая продолжительность экспедиции составила 48 суток. В экспедиции приняли участие 27 научных сотрудников. Руководил экспедицией научный сотрудник ТИБОХ к. х. н. Антон Николаевич Юрченко.

Цель экспедиции — изучение химического разнообразия биологически активных веществ в морских беспозвоночных животных, бактериях, низших грибах и водорослях, исследование многолетних изменений в бентосных сообществах и изучение ихтиофауны литорали и сублиторали Охотского моря и северо-западной части Тихого океана. Маршрут экспедиции пролегал вдоль восточного и северного побережий Сахалина, по северо-западной и северной части Охотского моря (побережье Хабаровского края от Шантарских островов до Ейриной губы, район банки Ионы), а также по большей части Курильских островов (район Малой Курильской гряды — остров Шикотан, район Большой Курильской гряды — острова: Итуруп, Уруп, Чёрные Братья, Симушир, Кетой, Ушишир, Матуа, Райкоке, Шиащкотан, Онекотан, Парамушир).

За время экспедиции было собрано более 2,5 тыс. образцов морских беспозвоночных (губки, актинии, медузы, моллюски и др.), определено около 200 видов представителей макро- и мегабентоса, 180 видов и форм рыб, включая икру личинок и мальков, более 140 видов водорослей и 3 вида морских трав. Около 1 тыс. образцов морских беспозвоночных животных были отобраны для формирования коллекции гидробионтов дальневосточных морей. Более 1,5 тыс. образцов подготовлены для дальнейших химических и биохимических исследований. Для выделения и последующей идентификации микроорганизмов было собрано 25 образцов грунта, 324 образца беспозвоночных и 27 образцов водорослей и морских трав.

Научные сотрудники ННЦМБ подготовили около 2,4 тыс. образцов 27 массовых видов макроводорослей Охотского моря для комплексной оценки активности и содержания ключевых компонентов антиоксидантной системы.

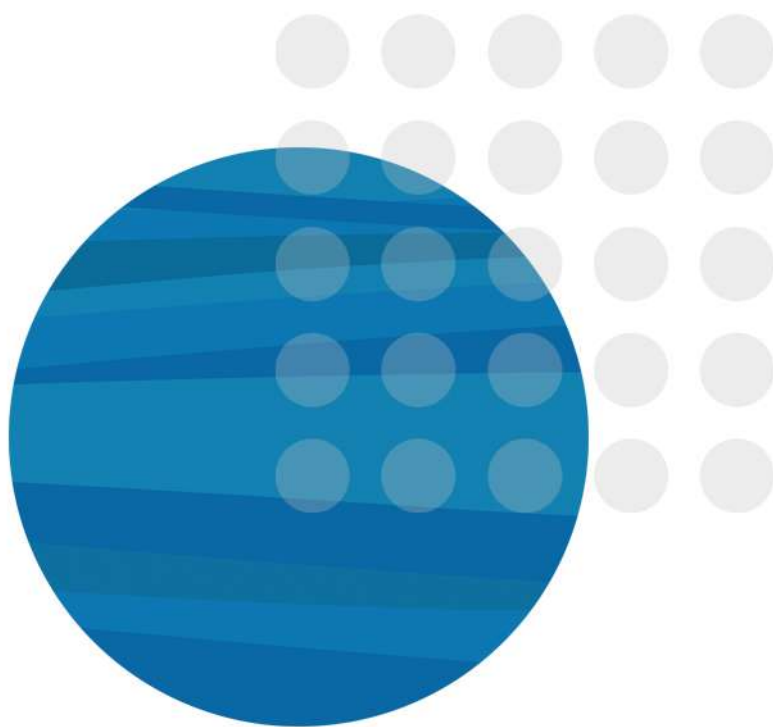
Были отобраны образцы морских беспозвоночных (губки, актинии, гидроиды, моллюски) для изучения химического состава фракций вторичных метаболитов. Методом тонкослойной хроматографии (ТСХ) было протестировано 334 образца морских беспозвоночных (губки, гидроиды, моллюски). Экстракты большинства исследованных образцов демонстрировали наличие стеринных и жирных кислот. В экстрактах 77 образцов (23,1 % от общего числа протестированных) присутствовали фракции необычных по структуре неполярных (33 образца), среднеполярных (17) и полярных (50) соединений, проявляющихся в условиях ТСХ в виде нестандартных по окраске и положению пятен.

Биологическая активность водных и этанольных экстрактов 425 морских беспозвоночных была исследована в пяти биотестах. Гемолитической активностью *in vitro* в отношении эритроцитов мыши линии CD-1 обладали этанольные экстракты 28 образцов губок и водные экстракты 6 образцов актиний. Цитотоксически воздействовали на клетки селезенки (спленоциты) мышей спиртовые экстракты 20 образцов губок, а также водный и водно-этанольный экстракты актиний. Противоопухолевую активность в отношении карциномы Эрлиха показали 68 экстрактов, из них 40 — цитотоксическую, не связанную с гемолитической или токсичностью в отношении спленоцитов. Острую токсичность *in vivo* на мышах линии CD-1 показали этанольные экстракты 4 образцов губок, обладающие также высокой гемолитической активностью.

Исследование антибактериальной активности водных экстрактов 425 образцов беспозвоночных было проведено на четырёх тест-культурах: дрожжах *Candida albicans*, грамотрицательных бактериях *Escherichia coli* и *Pseudomonas aeruginosa* и грамположительных бактериях *Staphylococcus aureus*. Противомикробную активность в отношении грамположительных бактерий *S. aureus* выявили у 22 образцов, 5 из которых оказывали бактериостатический эффект. В отношении грамотрицательных бактерий *E. coli* токсическое действие показали 22 экстракта, 5 из которых замедляли рост бактерий. Антимикробную активность в отношении микроскопических грибов *C. albicans* показали 5 экстрактов, в том числе 2 — с бактериостатическим эффектом. В отношении *P. aeruginosa* не был активен ни один образец. Сочетанное противомикробное действие отмечено у экстрактов 9 образцов.

Кроме того, была исследована трипсинингибирующая активность водных и водно-спиртовых экстрактов актиний (отряд Actiniaria). Высокой ингибирующей активностью (более 90 %) по отношению к трипсину обладали два водно-этанольных экстракта актиний. Таким образом, исследовательская экспедиция в Охотское море и северо-западную часть Тихого океана позволила оценить видовую представленность морских организмов, обитающих на дне, в толще воды и в прибрежных зонах, изучить бентосные сообщества, собрать достаточное количество биологического материала для дальнейшего выделения и идентификации морских грибов, а также для исследования химического разнообразия биологически активных соединений.

Внутренние воды



ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ РАБОТЫ ЛИН СО РАН НА ОЗЕРЕ БАЙКАЛ В 2019 ГОДУ

И. А. Асламов¹, Ю. С. Балин, М. В. Башенхаева¹, В. В. Блинов¹, Р. Ю. Гнатовский¹, В. М. Домышева¹, Т. В. Ефимова², Г. С. Жамсуева¹, Н. А. Жученко¹, В. А. Загайнов, Е. П. Зайцева¹, А. С. Захаренко¹, Т. И. Земская¹, В. Н. Зырянов³, Д. В. Зырянов³, С. В. Кирильчик¹, К. М. Кучер¹, А. В. Ломакина¹, О. О. Майкова¹, М. М. Макаров¹, Е. В. Минчева¹, Н. А. Моисеева², Непокрытых А.В., Панченко М.В., Перетолчина Т.Е., Г. В. Подлесная¹, Т. А. Пудовкина¹, М. Ю. Суслова¹, О. А. Тимошкин¹, А. Д. Фирсова¹, А. В. Хабуев¹, И. В. Ханаев¹, О. М. Хлыстов¹, Т. В. Ходжер¹, Т. Я. Чурилова², Ю. Р. Штыкова¹, О. В. Шубенкова¹, Д. Ю. Щербаков¹, А. П. Федотов¹

¹Лимнологический институт Сибирского отделения РАН

²Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН»

³Институт водных проблем Российской академии наук

В 2019 г. Лимнологический институт СО РАН провел 25 экспедиций (256 судосутки: НИС «Академик В. А. Коптюг» — 61, НИС «Г. Ю. Верещагин» — 85, НИС «Г. Титов» — 70, НИС «И. Д. Папанин» — 40) по оценке биотических и абиотических составляющих экосистемы оз. Байкал. В составе экспедиционных отрядов приняли участие коллеги из Университета имени Макса Планка (Германия), Билефельдского университета (Германия), Университета Осло (Норвегия), Кембриджского университета (Великобритания), Технологического института г. Китами (Япония), Института нефти и газа Национальной академии наук Азербайджана, Уральского государственного аграрного университета, Иркутского государственного университета, Института физического материаловедения СО РАН (ИФМ СО РАН), Института оптики атмосферы им. В. Е. Зуева СО РАН (ИОА СО РАН), Байкальского государственного университета, Иркутского государственного аграрного университета им. А. А. Ежевского, Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, Иркутского национального исследовательского технического университета, Дальневосточного геологического института ДВО РАН, ВНИИОкеангеология, Института водных проблем РАН (ИВП РАН), Института общей и экспериментальной биологии СО РАН, Сибирского института физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутского научно-исследовательского противочумного института Роспотребнадзора, Федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН».

К основным результатам экспедиционных работ можно отнести следующие:

- традиционные сезонные «кругобайкальские» экспедиции (НИС «Г. Ю. Верещагин») по регулярным сеткам станций по исследованию пелагиали Байкала показали, что весенний фитопланктон в основном был представлен диатомовыми, хризифитовыми и зелеными водорослями;
- по численности доминировали зеленая водоросль *Koliella longiseta* и *Monoraphidium griffithii* (на некоторых станциях), диатомовые *Nitzschia graciliformis* и *Synedra acus* subsp. *radians*, хризифитовая водоросль *Dinobryon cylindricum*;
- в малых количествах присутствовали другие виды: мелкоклеточные центрические диатомовые рода *Stephanodiscus*, а также криптофитовая *Rhodomonas pusilla*;
- крупноклеточные динофитовые *Gyrodinium helveticum* и *Glenodinium apiculatum* Zacharias. вносили основной вклад в биомассу по всей акватории озера, хотя их численность была невелика.

В ходе рейса на НИС «Академик В. А. Коптюг» совместно с ИОА СО РАН и ИФМ СО РАН проведена оценка физических характеристик химического состава атмосферы (в непрерывном режиме с осреднением 2–5 минут) над акваторией Байкала во время лесных пожаров (рис. 1). С использованием лидара, разработанного в ИОА СО РАН, выполнено вертикальное и горизонтальное зондирование атмосферы на расстояние до 5–6 км. Зафиксировано заполнение атмосферы дымовым аэрозолем от поверхности воды до 5,0 км. В приземной атмосфере выявлены высокие значения газовых примесей (оксидов серы, азота).

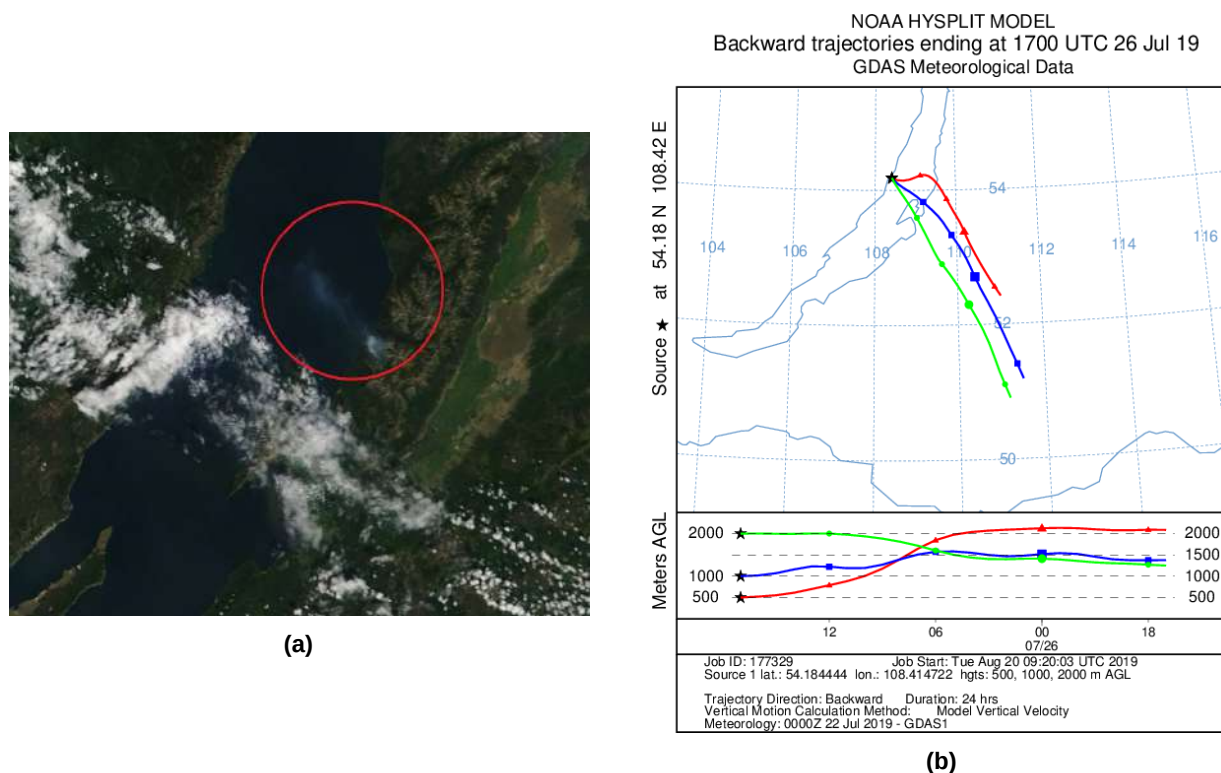


Рис. 1. Космический снимок Среднего Байкала с дымовым шлейфом от лесного пожара вблизи бухты Сосновка (красный круг) (а) и обратные траектории, рассчитанные с использованием модели HYSPLIT для 26 июля 2019 г. (время GMT) (б)

Исследования газообмена углеродосодержащих газов в системе вода — атмосфера и содержания биогенных элементов в прибрежной зоне Баргузинского и Чивыркуйского заливов Байкала показали (НИС «И. Д. Папанин»), что парциальное давление CO_2 в воде заливов ниже атмосферного, а парциальные давления метана в воде заливов и в открытой акватории озера больше атмосферного. В Чивыркуйском заливе поток CH_4 существенно выше, чем в Баргузинском.

Оценка микроорганизмов (НИС «Г. Титов»), участвующих в круговороте азота и фосфора в поверхностном микрослое, водной толще и эпилимнине, демонстрирует, что во всех исследуемых биотопах численность и разнообразие фосфатаза-активных бактерий (ФАБ) больше фосфатрастворяющих бактерий (ФРБ). Максимальная численность ФАБ приходилась на эпилимн, а ФРБ — на поверхностный микрослой. Бактерии цикла азота (азотфиксаторы, аммонификаторы и денитрификаторы) обнаружены в максимальном количестве в эпилимнине, где их численность отлична от других биотопов на 1–3 порядка. Аммонификаторы — самая многочисленная группа бактерий цикла азота, затем — азотфиксаторы и последние — денитрификаторы. Санитарно-бактериологические показатели качества поверхностных вод во многих местах с высокой антропогенной нагрузкой по-прежнему остаются на невысоком уровне.

На НИС «Г. Ю. Верещагин» совместно с «ВНИИОкеангеология» и Кембриджским университетом проведено изучение влияния грязевых вулканов и метановых сипов на биологические сообщества абиссальной зоны Байкала. Впервые показано влияние микроциркуляций придонной воды на разнообразие и структуру микробных сообществ глубинных слоев осадка. В анаэробной зоне донных отложений обнаружены последовательности аэробных метанотрофных бактерий рода *Methylobacter*, которые идентичны по структуре гена 16S рПНК метанотрофам из придонной воды и поверхностного слоя осадка этого района. Образцы аутигенных карбонатов в осадках трех грязевых вулканов были представлены сидеритами. Изотопный состав $\delta^{13}\text{C}$ у всех образцов был положительный, что свидетельствует об участии процессов метаногенерации в их кристаллизации. Предварительный анализ библиотек генов 16S рПНК из донных отложений этих районов показал наличие в сообществах как метаногенных архей, так и бактерий NC10 и метанотрофных архей.

На основе метагеномного анализа микроэукариот, ассоциированных с водорослями по маркеру ITS2, проведены исследования (НИС «Г. Титов» и «И. Д. Папанин») по выбору био-маркеров для мониторинга стабильности сообществ пресноводных водорослей. В районах с антропогенной нагрузкой были массово представлены *Chytridiomycota* (в основном *Rhizophyidium*), которые широко распространены в пресноводных экосистемах и действуют как редуценты и паразиты водорослей. Также в районах с антропогенной нагрузкой идентифицированы грибы порядка *Glomerellales*, среди которых известны паразиты растений.

Изучение заболеваемости байкальских эндемичных губок выполнено на многолетних полигонах с использованием НИС «Академик В. А. Коптюг» и «Г. Титов». Собрано и проанализировано 237 образцов больных губок. Во всех местах сбора преобладал ветвистый вид *Lubomirskia baikalensis*, у которого были обнаружены все известные типы поражения (рис. 2). В результате проведенных исследований показано, что губки болеют вне зависимости от прямого антропогенного воздействия, но на примере Лиственничного залива видно, что антропогенный фактор существенно усугубляет ситуацию.

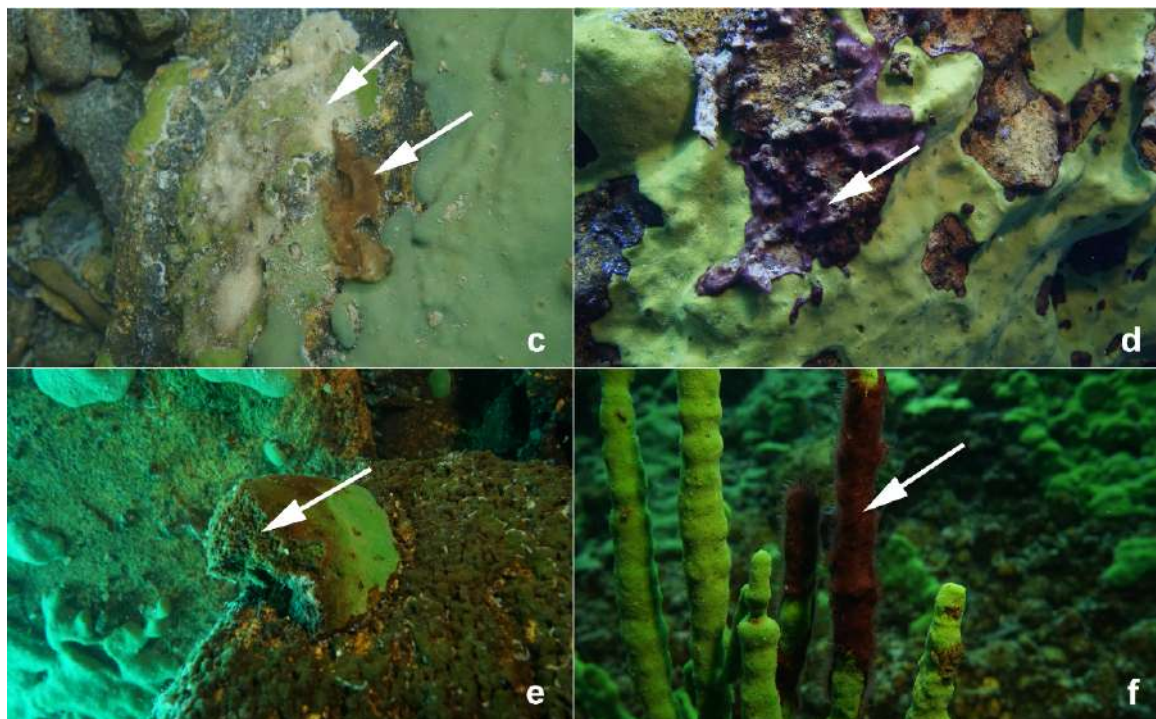


Рис. 2. Типы поражения губок: обесцвечивание и некроз (с), биопленка цианобактериальная (d, f), некроз (е)

В ихтиологическом рейсе на НИС «Г. Ю. Верещагин» в местах массового сосредоточения рыб (створ Чивыркуйского залива, Большие Ольхонские ворота пролива Малое Море, а также по котловинам озера на разных горизонтах) проведены исследования присутствия в воде ДНК сиговых рыб. Определено, что ДНК размером 70 пн и 400 пн была наиболее массовой, что свидетельствует о высокой степени ее миграции и перемешивания под действием течений. В целом полученные результаты показывают широкие возможности в изучении биологического разнообразия в условиях Байкала с использованием ДНК окружающей среды и ампликонов различной длины.

Совместно с ФИЦ ИнБЮМ проведена апробация алгоритма компенсации снижения интенсивности флуоресценции, вызванного воздействием света в естественных условиях (НИС «Г. Титов»). Показано, что с применением алгоритма интенсивность флуоресценции в поверхностном и верхнем перемешанном слоях увеличивается на 50–100 % в дневное время (с 9:00 до 17:00), в утренние и вечерние часы прирост составляет 40–80 % (рис. 3).

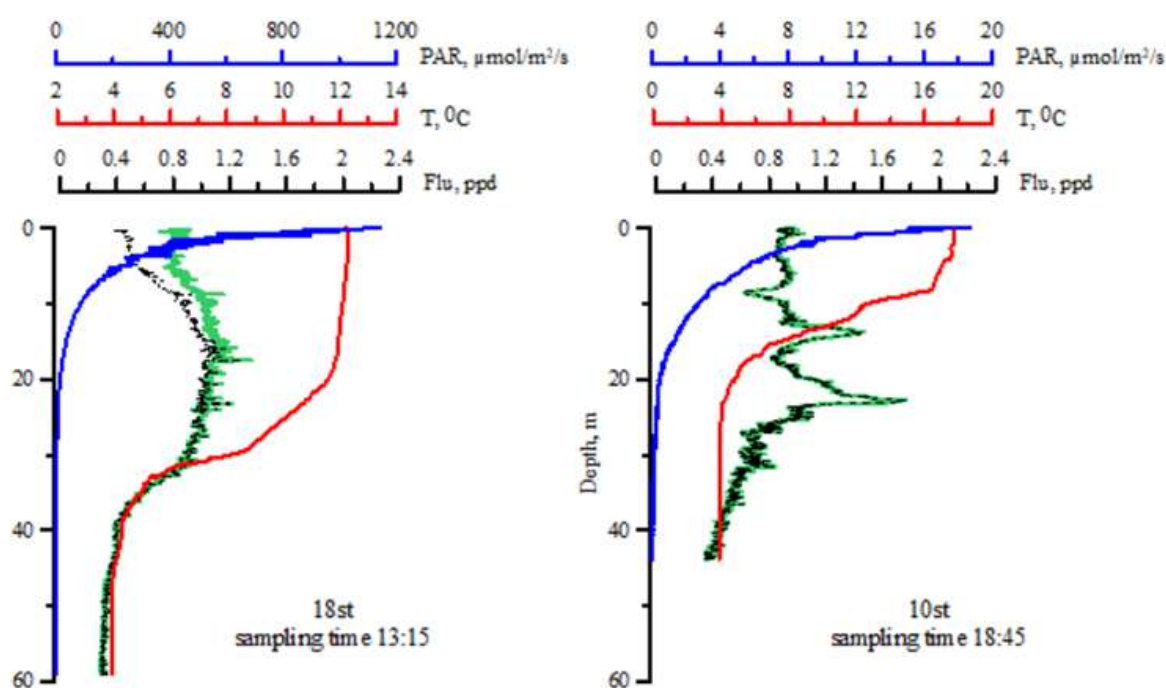


Рис. 3. Сравнение вертикальных профилей, измеренных в дневное и вечернее время: фотосинтетически активная радиация (PAR $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, синяя линия), температура (T °C, красная линия), интенсивность флуоресценции (Flu ppd), измеренная погружным датчиком (чёрная линия) и восстановленная с учётом интенсивности света (зелёная линия)

С использованием НИС «И. Д. Папанин» выполнены работы по тестированию подводного видеоборудования — телеуправляемого необитаемого подводного аппарата (ТНПА) TurtleROV, разработки и производства компании ELMICS г. Зеленоград. В процессе испытаний подводного аппарата были сформулированы новые идеи по поводу его использования в интересах морской геологии и экологии.

В экспедиции на НИС «Г. Ю. Верещагин» совместно с ИВП РАН проведены гидрофизические исследования течений с использованием автономных гидрологических буев Argos. Были запущены две буйковые системы с датчиками температуры и с подводным парусом, установленным на глубину 200 м. Зарегистрированы траектории дрейфа буйковых систем вдоль линий течений. По результатам STD-измерений зондом SBE-25 на разрезах через вихревую структуру получены данные распределения температуры, минерализации и кислорода.

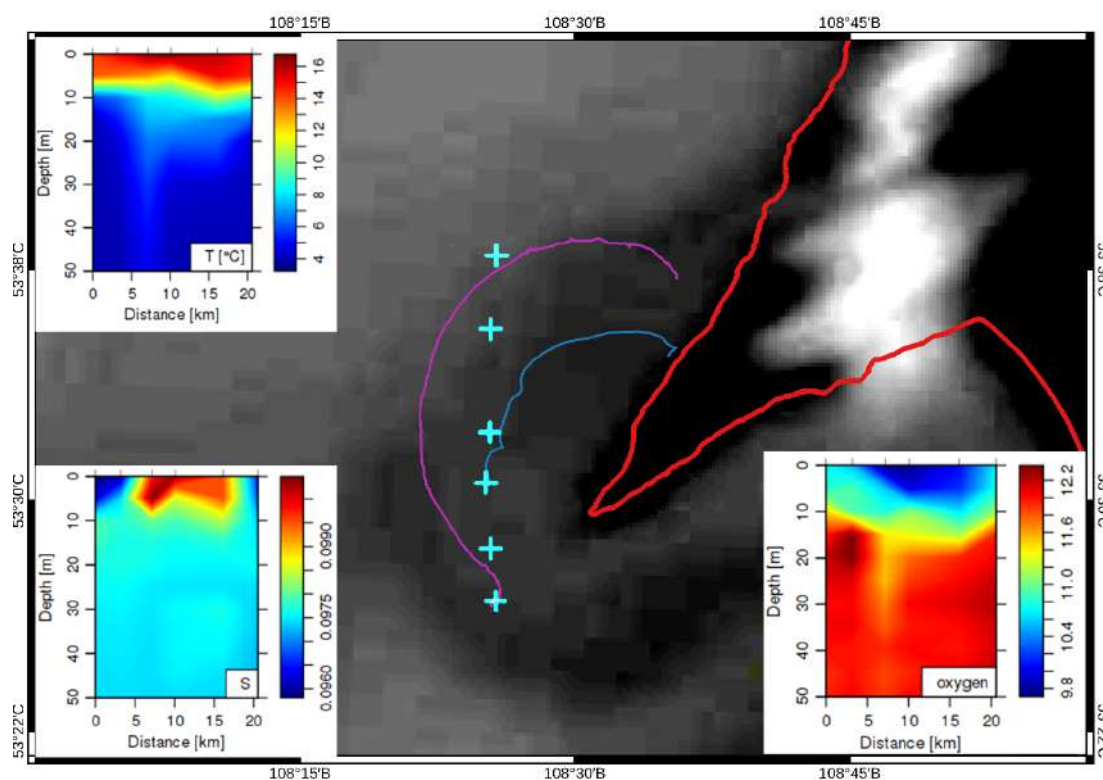


Рис. 4. Траектории дрейфа буёв на фоне спутникового снимка с вихревой структурой и полученные распределения температуры, минерализации и растворённого кислорода на разрезе через структуру. Крестами показаны координаты измерительных станций

Экспедиционные работы на НИС «Г. Ю. Верещагин» в рамках российско-бельгийско-японского проекта «Multi-phase Gas Hydrate Project (МНР III-19)» и проекта Норвегии «From hydrothermal systems to mud volcanoes: Planet-scale impacts of piercements in sedimentary basins (HOTMUD)» позволили получить предварительную цифровую модель подводного рельефа южной оконечности Северного Байкала. В средней котловине открыто 6 новых мест скопления газовых гидратов вблизи поверхности дна озера. Проведены геохимические исследования углеводородных газов по поперечным к разломам профилям. Результаты показали, что концентрация метана существенно повышается непосредственно над разломом, а также в зоне опущенного тектонического блока, в котором прослеживаются многочисленные опоярющие разломы.

Проведены исследования состояния фитоценозов и гидрохимического состава литоральной и прибрежной зон оз. Байкал на НИС «Академик В. А.» и «И. Д. Папанин» в местах с различной антропогенной нагрузкой. Определено, что во всех проблемных районах озера, по которым ведутся регулярные наблюдения последние 5–7 лет, никаких позитивных изменений в фитоценозах не выявлено. К сентябрю 2019 г. фитоценозы с доминированием спирогир развивались напротив большинства исследованных прибрежных поселков. Сырая биомасса нитчаток на глубине 1,5 метра колебалась в пределах, установленных для предыдущих лет (100–150 г·м⁻²). В июне 2019 г. внушительные береговые и подводные скопления прошлогоднего водорослевого детрита впервые обнаружены в бухте южнее мыса Шаманий (о. Ольхон). По предварительным оценкам, выбросы покрывали около 900 м² пляжа, их сырая масса составляла приблизительно 40 тонн. Содержание биогенных элементов в прибрежных водах (до 10 м глубины) варьировало значительно. Наименьшие концентрации всех биогенных элементов отмечены в Среднем Байкале. По величине удельного комбинаторного индекса загрязнения прибрежные воды

Баргузинского залива отнесены к 1 классу (условно чистые), воды Чивыркуйского залива — ко 2 классу (условно загрязненные). Гидрохимические исследования показали, что прибрежные воды по содержанию микроэлементов малоизменчивы и не отличаются от пелагиальных, за исключением устьевого района р. Селенги. Отмечено отсутствие варьирования в относительном катионном составе прибрежных вод.

СТРУКТУРА И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ЭКОСИСТЕМ КАСКАДА ВОЛЖСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩ: ИТОГИ КОМПЛЕКСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В 2018–2019 ГГ.

Ю. В. Герасимов

Институт биологии внутренних вод им И. Д. Папанина РАН

В настоящее время структура и функционирование экосистем Волжско-Камского каскада водохранилищ всё в большей степени определяется и зависит от проникающих сюда инвазионных видов. Для изучения и прогноза биологических инвазий в акватории Волжско-Камского бассейна требуется постоянный детальный мониторинг всей акватории. Этот процесс обусловлен рядом причин: зарегулированием рек, общим потеплением климата, увеличением степени зарастания литорали и снижением давления хищников.

Одна из важных проблем, связанных с изучением расселения видов за пределы исторических местобитаний — определение регионов-доноров, путей проникновения и направленности расширения ареалов. Второй проблемой является видовая идентификация. Ее в настоящее время способна решить ставшая рутинной процедура ДНК-штрихкодирования, позволяющая достоверно идентифицировать гидробионтов. Ещё одна проблема — это выяснение основных причин увеличения интенсивности проникновения инвазивных видов в Волжско-Камский и Донской бассейны, среди которых рассматривается зарегулирование этих рек, обусловившее снижение скорости течения.

Указанным вопросам были посвящены работы на экспедиционном судне Института биологии внутренних вод им И. Д. Папанина РАН (ИБВВ РАН) в 2018–2019 гг.

Распространение по Волге планктонных и бентосных видов-вселенцев из Каспия в связи с повышением стока

В межень за полмесяца до экспедиции (1—15 VIII) наибольший сток Волги зафиксирован в 2017 г. В 2019 г. расход воды через Волжскую ГЭС был сравним с расходом, зафиксированным в 2015 и 2018 гг. Рост стока отмечен в начале сентября, после завершения гидробиологических работ. В 2017 г. в Средней Волге найдено в 1,5 раза меньше каспийских вселенцев и полностью отсутствовали хищные кладоцеры, хотя температура воды способствовала их развитию. Северная граница их распространения находилась ниже устья Камы, ранее они поднимались по Волге почти до Казани, по Каме — до Набережных Челнов. Причина — очень большой приток воды сверху по Волге и Каме.

Сходная ситуация наблюдалась и у бентосных организмов. Например, снижение численности дрейссенид в Чебоксарском и Саратовском водохранилищах в 2017 г. Также отмечено увеличение количества танатоценозов дрейссены. В 2018 г. зафиксирован небольшой рост численности дрейссенид в этих водоёмах за счёт молодых моллюсков.

Механизм воздействия повышенного стока — это повреждения дрейссенид грунтом, перемещение самих моллюсков течением, засорение фильтрационного аппарата взвесью (при концентрации взвеси $> 20 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$).

Зоопланктон. Регион распространения понто-каспийских вселенцев зоопланктона

В Волге понто-каспийские виды обитают до устья Камы (1700 км от Каспия). В Каме разные виды расселились на 800–1000 км от слияния с Волгой. В Дону эти виды обитают до верховья Цимлянского водохранилища (около 400 км от устья). Они заселили также все три водораздельных водохранилища Волго-Донского канала.

Распределение численности понто-каспийских зоопланктонных видов-вселенцев в Волге и Каме

В Волге до устья Камы обнаружено шесть вселенцев, в Каме — три. Наиболее многочисленны ракообразные-копеподы родов *Eurytemora*, *Calanipeda* и *Heteroscore*. Также в Волге обитают три вида ветвистоусых рачков из Азовского моря, один из них — рода *Cercopagis* — достиг Камы. Все эти виды обнаружены также в р. Дон (Цимлянское водохранилище) и в водоёмах Волго-Донского канала.

Установлено быстрое расселение на северо-запад восточноазиатской копеподы *Thermocyclops taihokuensis* Harada, 1931 (ракообразные). Данный вид обитает в бассейнах Сырдарьи и Амударьи, на территории Таджикистана и Узбекистана. Также довольно распространён в Китае и Вьетнаме, на Дальнем Востоке и в Казахстане. Впервые найден летом 2017 г. в незарегулированном участке Нижней Волги (< 1 тыс. экз. \cdot м⁻³). В 2018 г. отмечено массовое развитие вида в Цимлянском водохранилище (> 100 тыс. экз. \cdot м⁻³), а также в Волго-Донском канале. В Цимлянском водохранилище обитает с 2012 г.

Распределение зоопланктона в Цимлянском водохранилище

Наибольшая биомасса (2–4 г \cdot м⁻³) отмечена в Верхнем и Потемкинском плёсах. Среднее количество зоопланктона — 1,7 г \cdot м⁻³, что в 1,5 раза выше такового до 2013 г. и в 3 раза выше, чем в Нижней Волге. По всей акватории доминировали вселенцы: в верхней половине *Thermocyclops taihokuensis*, в нижней — *Calanipeda aquedulcis* и *Heteroscore caspia*.

Моллюски

В 2015 г. в Горьковском водохранилище обнаружен двустворчатый моллюск-вселенец *Corbicula fluminea*. В 2017 г. установлено основное место его обитания — водоём-охладитель Костромской ГРЭС, а также подтверждена видовая принадлежность моллюска: *Corbicula fluminea*, форма R, гаплотип митохондриального гена первой субъединицы цитохром с-оксидазы (COI, мтДНК) соответствует FW5. Впоследствии были обнаружены спермии, характерные для полиплоидных андрогенетических популяций корбикулы, обладающих высоким инвазионным потенциалом. В 2018 г. исследована размерно-массовая структура популяции вселенца в водоёме-охладителе Костромской ГРЭС. Преобладали взрослые особи 22–26 мм (40 %) и сеголетки 16–18 мм (25 %). Численность корбикулы составила 100–175 экз. \cdot м⁻², биомасса — 400–700 г \cdot м⁻². В 2018–2019 гг. исследована размерно-весовая структура популяции этого вида в водоёме-охладителе Костромской ГРЭС, а также подсчитана плотность обитания корбикулы. Возраст составил от 1 до 4–5 лет. При вскрытии моллюсков (118 экз.) паразиты и эндосимбионты не были обнаружены.

В период с 1965 по 1970 гг. моллюск *Adacna colorata* (Eichwald, 1829) неоднократно выпускался в Куйбышевское водохранилище, а впоследствии сам вселился в Волгоградское и Саратовское водохранилища из Каспия. С начала 2000-х встречается на песчаных биотопах Куйбышевского водохранилища. В наших сборах обнаруживался единично в биоценозе дрейссенид в Куйбышевском водохранилище в 2016, 2018 и 2019 гг.

Физа заостренная — *Physella acuta* (Draparnaud, 1805). Отмечена в низовьях Волги. В 1998–2009 гг. обнаружена в Волжском плёсе Куйбышевского водохранилища. В наших сборах ещё ни разу не обнаружена.

Theodoxus pallasii Lindholm, 1924 до обнаружения его непосредственно в водах самой Волги (Волгоградское водохранилище) обитал в Каспийском, Чёрном, Азовском и Аральском морях, а также в дельтах рек, впадающих в эти моря. По нашим данным, сейчас ареал *Th. pallasii* ограничен Средней и Нижней Волгой.

Первая регистрация *Lithoglyphus naticoides* (Pfeiffer, 1828) в дельте Волги относится к 1971 г. Этот моллюск к концу 70-х годов занял в дельте свободную экологическую нишу заилённых песков и достиг высокой численности. Отмечено расширение ареала: в 2013 г. вид обнаружен в Угличском водохранилище.

В настоящее время происходит увеличение его численности в бентосе литорали и зарослевой фауне данного водоема. Брюхоногие моллюски *Lithoglyphus naticoides* и *Theodoxus pallasii* — промежуточные хозяева паразитических трематод, расширение ареалов их обитания способствует возникновению новых очагов заражённости рыб.

С проникновением в Волгу из бассейна Дона моллюска *Lithoglyphus naticoides* связано появление в бассейне трематод рода *Apophallus* Lühe, 1909, которые вызывают чернопятнистое заболевание рыб. Массовое проявление этой болезни обнаружено нами в верховьях Шекснинского плёса Рыбинского водохранилища и у г. Волгореченск в Горьковском водохранилище.

Пути проникновения и расширения ареалов массовых чужеродных видов Волжско-Камского региона

В 2019 году были продолжены работы по мониторингу биологических инвазий Волжского региона. В экспедиции на НИС «Академик Топчиев» были собраны пробы прибрежной ихтиофауны Верхней, Средней и Нижней Волги (27 коллекционных сборов) и зоопланктона (64 пробы). Весь материал фиксирован этанолом для дальнейшей камеральной обработки и ДНК-анализа.

В осенней экспедиции по р. Дон нами собрана большая коллекция ихтиологического материала по видам-вселенцам (17 сборов) и зоопланктону (65 проб) из р. Дон от истока до устья. Полученные выборки, особенно иглы-рыбы и бычка-кругляка из Нижнего Дона, позволят реконструировать вероятные коридоры и векторы инвазий для этих видов в Волжско-Камском бассейне (на основании предположения о расселении именно понтийских популяций).

Совместно с Волжско-Каспийским филиалом Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии на НИС «Дафния» проведена совместная экспедиция в дельту Волги. Собран материал из западной и восточной частей дельты.

В районе г. Астрахани был обнаружен бычок-ширман *Ponticola (Neogobius) syrman* (Nordmann, 1840). Считается, что бычок-ширман не поднимается выше эстуарных зон. Есть вероятность продолжения экспансии этого вида.

Баркодинг фауны Волго-Камского бассейна. Простейшие

В 2019 г. начаты работы по метабаркодинговому исследованию простейших р. Волги. Простейшие микроорганизмы вносят огромный вклад в формирование продуктивности и биоразнообразия водных экосистем. Бактерии и простейшие играют главную роль в самоочищении водоёмов, формировании качества воды и донных отложений.

В последние годы развитие методов секвенирования следующего поколения (Next-generation sequencing, NGS) привело к революции представлений о разнообразии простейших. Согласно молекулярным данным, в природе существует до 10–100 раз больше видов одноклеточных, чем известно сейчас. Познание этого огромного неизвестного мира микробов открывает целое новое направление для экологических и эволюционных исследований и формирования новых подходов к решению проблем биобезопасности.

Дело в том, что многие неидентифицированные простейшие могут принадлежать к неизвестным пока науке паразитическим и патогенным для гидробионтов микроорганизмам. Так, благодаря секвенированию нового поколения в морских водах недавно были обнаружены паразитические простейшие, поражающие радиолярии, крупные инфузории и икру рыб. Следует подчеркнуть, что пресные водоёмы и водотоки в данном контексте практически не исследованы, а река Волга не изучена вовсе.

Новые знания о разнообразии и функциональной роли микроорганизмов (включая патогенность и паразитизм), полученные с использованием подходов метагеномики, крайне важны для оценки их потенциальной роли в структурно-функциональной организации водных экосистем и связаны с решением проблем биобезопасности гидробионтов.

В экспедиции при помощи батометра было отобрано 120 проб воды по всей Волге. На судне эта вода была профильтрована сквозь стерильные мембранные фильтры с диаметром пор 0,2 микрометра и 3 микрометра, на которых собирались клетки микроорганизмов разного размера. После этого с фильтров была выделена тотальная ДНК. Далее определённые информативные участки ДНК многократно копировались, приумножались с использованием универсальных праймеров и прочитывались на секваторе нового поколения Illumina MiSeq. На выходе определялась последовательность нуклеотидов, по которой, как по штрихкоду, можно идентифицировать простейших, которые находились в воде в момент отбора проб. Сейчас полученные данные анализируются. Новые данные по молекулярному биоразнообразию микробов расширяют наше понимание организации и функционирования водных сообществ р. Волги.

Рыбы

Были протестированы как специфические, так и вырожденные праймеры для 12 инвазивных и 16 местных видов рыб из бассейна рек Волжско-Камского региона, собранных в экспедициях по водохранилищам Волжско-Камского каскада. Мы обнаружили, что невозможно получить пригодный для использования продукт ПЦР в 15–20 % случаев из-за значительной вариабельности сайта связывания праймера. Мы предлагаем сместить рамки считывания на 7–10 нуклеотидов в локусе в сторону более консервативных сайтов. После тестирования мы предложили комбинацию праймеров, использование которых для пресноводных рыб повысило эффективность ПЦР до 95 % без снижения достоверности ДНК-идентификации. Набор праймеров был протестирован для образцов с сильно повреждённой и фрагментированной ДНК. Использование этого набора позволило идентифицировать около 90 % европейских чужеродных пресноводных рыб.

Использование предложенных праймеров позволило построить одно большое филогенетическое дерево и уточнить диагнозы для всех сложноопределимых или фрагментарных находок чужеродных видов рыб Волжско-Камского региона.

На основании ДНК-штрихкодирования нами подтверждено выдвинутое ранее предположение о принадлежности волжских популяций звёздчатой пугловки к одному понто-каспийскому виду с широким ареалом. Заселение звёздчатой пугловкой водохранилищ Средней Волги, по-видимому, связано с масштабным строительством плотин и гидросооружений во второй половине XX века. Несомненно, что до-

нормым регионом при расселении звёздчатой пугловки для водохранилищ Верхней Волги служит Куйбышевское водохранилище. Незначительная генетическая дифференциация особей Средней и Верхней Волги от черноморских, вероятно, указывает на происхождение популяций звёздчатой пугловки Куйбышевского водохранилища как результат случайной интродукции рыб совместно с мизидами из Азово-Черноморского бассейна. Генетический вариант из Саратовского водохранилища отличается от всех других последовательностей и, возможно, имеет иное происхождение: учитывая, что это водохранилище из всех вышеперечисленных наиболее близко расположено к Каспийскому морю и популяция звёздчатой пугловки, обитающая в нем, в качестве источника расселения может иметь Каспийский регион. Несомненно, что требуется дальнейшее филогеографическое изучение пресноводных популяций звёздчатой пугловки.

Подтверждены результаты аллозимного анализа о наличии единого широкораспространённого вида черноморско-каспийской тюльки, подразделённость в котором определена обитанием популяций в водах с разной минерализованностью. В настоящее время тюлька является видом-доминантом (а часто сверхдоминантом) в пелагической части рыбного сообщества водохранилищ Волги. Для этого вида характерны многолетние циклы (6–8 лет) вспышек численности в водохранилищах Верхней Волги. Для водохранилищ Средней Волги подобных мощных «волн жизни» не отмечается, что подтверждается как данными наших исследований, так и другими научными источниками. В этих водоёмах тюлька давно освоилась, заняла свою экологическую нишу в пелагическом сообществе, в результате чего для этих популяций не характерны столь значительные демографические колебания.

Применение анализа ДНК позволило установить принадлежность волжских тупоносых бычков к виду *Proterorhinus semipellucidus*. Тупоносые бычки так же, как и бычок-кругляк, — самые распространённые вселенцы Волги. Впервые этот вселенец обнаружен в 1980-х гг. в Саратовском водохранилище. В дальнейшем, вероятно, из-за своих небольших размеров эти бычки незаметно расселились по всем водохранилищам Волги, создав также популяцию в Москве-реке. В наших обловах тупоносый бычок присутствует практически во всех водохранилищах Волги, в некоторых случаях достигая значительной численности.

Исследования инвазионных видов Волго-Камского и Донского бассейнов подтвердили наличие трёх путей их вселения: из Понто-Каспия, через дельты Волги и Дона, через Волго-Балтийский канал по реке Шексна или как результат случайной или направленной интродукции при акклиматизационных работах.

ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО, ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКОГО И СЕДИМЕНТАЦИОННОГО РЕЖИМОВ КРУПНЕЙШИХ ОЗЕР-ВОДОХРАНИЛИЩ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ ПОД ВЛИЯНИЕМ КЛИМАТИЧЕСКОГО И АНТРОПОГЕННОГО ФАКТОРОВ (ПО ДАННЫМ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 2019 Г.)

Н. М. Калинкина*, Е. В. Теканова, М. Б. Зобков, Н. А. Белкина, А. В. Рябинкин, А. П. Георгиев

Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр РАН»

Институт водных проблем Севера

*cerioda@mail.ru

Изменения климата в России протекают со скоростью, в два раза превышающей процессы глобального потепления. При этом наиболее масштабные изменения происходят в арктическом и субарктическом регионах [1]. В связи с климатическими изменениями в северных регионах мира поступление аллохтонного органического углерода в последние годы становится одним из основных факторов, влияющих на структуру и функции экосистем озёр [2]. Возрастание стока гумусовых веществ и железа может, во-первых, ухудшить качество природных вод и, во-вторых, нарушить эволюционно сложившийся метаболизм водной экосистемы [3]. В настоящее время эти процессы наблюдаются в приустьевых участках Онежского озера, водосбор которого характеризуется повышенной заболоченностью [4]. На фоне усиления климатических воздействий влияние антропогенного фактора на водоёмы Карелии в целом снижается с 1990-х годов за счёт улучшения очистки сточных вод и модернизации производств. В настоящее время в водоёмах протекают процессы реолиготрофизации, т. е. снижения трофического статуса в связи с ослаблением фосфорной нагрузки [5]. При этом открытым остаётся вопрос о возможности возврата озёр к олиготрофной стадии развития в условиях климатических изменений. В последние годы на литорали Онежского озера в больших количествах встречается байкальская амфипода *Gmelinoides fasciatus* (Stebbing), заселившаяся в водоем в результате непреднамеренной интродукции [6]. Оставалась неизученной роль вселенца в питании бентосоядных рыб. В связи с этим весьма актуальными являются задачи по оценке воздействия климатических изменений, антропогенного фактора и биоинвазий на крупнейшие водные экосистемы Северо-Запада России на современном этапе их функционирования.

В 2019 г. экспедиционные исследования с использованием научно-исследовательских судов «Эколог» и «Посейдон» проводились на крупных водоёмах Севера России — Онежском озере и Выгозерском водохранилище. Целью экспедиционных исследований в 2019 г. стало изучение термического, химического и гидробиологического режимов этих водоёмов, а также процессов седиментогенеза в условиях климатических изменений и в связи с антропогенным воздействием.

В рамках выполнения экспедиционных работ в 2019 г. решались следующие задачи:

- оценка современного состояния экосистем Онежского озера и Выгозерского водохранилища по важнейшим параметрам (температура воды, химический состав воды и донных отложений);
- изучение реакции планктонных и бентосных сообществ этих водоёмов на климатические изменения и антропогенное воздействие;
- оценка вклада инвазивного вида — байкальской амфиподы *Gmelinoides fasciatus* — в питание рыб Онежского озера, обитающих в литоральной зоне;
- исследование процессов седиментогенеза Онежского озера и Выгозерского водохранилища.

Тенденции изменений в экосистеме Онежского озера

Экспедиционные исследования на Онежском озере в 2019 г. подтвердили достоверность многолетних трендов увеличения в воде Петрозаводской губы цветности, концентрации диоксида углерода, а также снижения величины pH и процента насыщения воды кислородом как результата увеличения поступления в залив гумусовых веществ с речными водами (рис. 1), что связано с климатическими изменениями на водосборе.

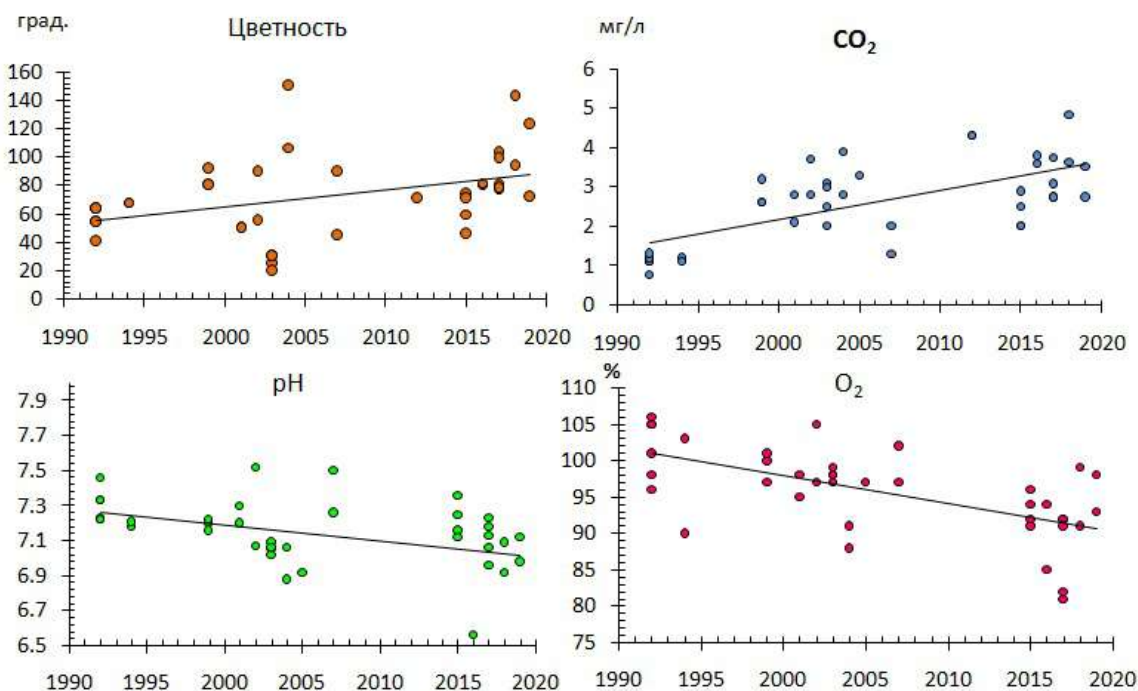


Рис. 1. Многолетние тренды химических показателей в эпилимнионе Петрозаводской губы Онежского озера в весенний период 1992–2019 гг.

В 1992–2019 гг. в Петрозаводской губе отмечается тенденция к снижению показателей биомассы диатомового фитопланктона и достоверное снижение содержания хлорофилла *a* (рис. 2), что может быть связано с возрастанием цветности воды (рис. 1). При увеличении цветности воды возрастает коэффициент экстинкции света, причём для разных длин волн по-разному. Оптимум поглощения света диатомовым планктоном находится в диапазоне длин волн 400–450 нм [1]. Расчёты по формуле, связывающей коэффициент экстинкции, цветность и прозрачность воды [8], показали, что весной при наблюдаемом в Петрозаводской губе возрастании средних значений цветности воды с 56° в 1990-е до 73° в 2010-е гг. коэффициент экстинкции в диапазоне волн 400–450 нм увеличивается на 14 % (таблица 1). Такое же увеличение коэффициента экстинкции наблюдается и в летнее время, что может ухудшать условия развития диатомового планктона за счёт снижения интенсивности проникновения света.

Новым фактором, вызвавшим коренные преобразования в трофических сетях литоральной зоны Онежского озера, оказалось вселение байкальской амфиподы *Gmelinoides fasciatus*. Ихтиологические исследования позволили доказать, что в настоящее время кормовая база бентосоядных рыб Онежского озера претерпевает заметные изменения из-за появления байкальского рачка. Байкальская амфипода *Gmelinoides fasciatus* составляет 80 % в пищевом спектре молоди окуня и увеличивает калорийность питания рыб на 30 %.

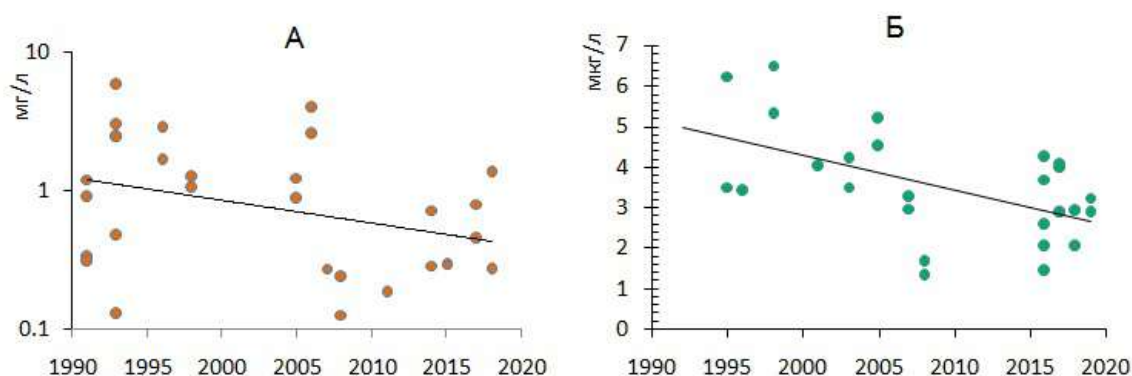


Рис. 2. Многолетняя динамика биомассы диатомового фитопланктона (А) и хлорофилла а (Б) в Петрозаводской губе Онежского озера (летний период)

Таблица 1. Гидрооптические характеристики воды Петрозаводской губы в 1990-е и 2010-е годы

Годы	Весна			Лето		
	Цветность, град	α 400	α 450	Цветность, град	α 400	α 450
1990-е	56	5,16	0,87	27	2,78	0,52
2010-е	73	5,90	0,93	36	3,21	0,55

Примечание: α — коэффициент экстинкции света

Впервые в разных районах Онежского озера проведены прямые натурные наблюдения количественного и качественного составов взвешенного вещества с использованием оригинальных седиментационных ловушек, получены новые разрезы отложений последнего гляциоседиментационного цикла разной мощности. Проведение «прямых» наблюдений годового накопления взвешенного вещества в Онежском озере потребовало разработки и испытаний на водоёме упрощённой конструкции седиментационной ловушки. По предварительным данным, за время экспозиции с 09.2018 по 09.2019, в зависимости от района Онежского озера, скорости накопления осадочного материала в ловушках изменялись: от 0,1 (Повенецкий залив) до 3 см в год (Кондопожская губа) неконсолидированной взвеси.

Таким образом, исследования, проведенные на Онежском озере в 2019 г., позволили установить:

- 1) начиная с 1990-х годов, на экосистему озера действует новый фактор — усиление стока веществ с водосборной территории в результате климатических изменений; геохимическими индикаторами последствий климатических изменений на водосборных территориях являются синхронное возрастание цветности воды, концентрации общего железа, общего фосфора, углекислого газа и снижение pH воды;
- 2) изменения химического состава воды в последние годы наблюдаются главным образом в приустьевых участках Онежского озера — крупных заливах (Петрозаводская и Кондопожская губы); качество воды в открытом плёсе озера остаётся без изменения, что свидетельствует об эффективной трансформации в заливах аллохтонного органического вещества;
- 3) в результате климатических изменений и снижения антропогенной нагрузки отмечается реолиготрофизация Онежского озера, что подтверждается снижением количественных показателей развития фитопланктона;
- 4) доля байкальской амфиподы *Gmelinoides fasciatus* в пищевом спектре молоди окуня составляет до 80 % и увеличивает калорийность его питания на 30 %;

- 5) разработана и применена методика оценки средней скорости современного озёрного осадконакопления на основе химического баланса озера. Проведена количественная оценка вклада терригенной составляющей и внутриводоёмных процессов в формирование донных отложений Онежского озера. Ежегодно в донные отложения озера поступает около 17 тыс. т вещества, 60 % которого составляет обломочный материал водосборной территории, внутриводоёмные процессы обеспечивают 40 % осадочного вещества (из них 18 % приходится на Si, 8 % — Fe, 4 % — Сорг, 2 % — Al).

Состояние Выгозерского водохранилища

Экспедиционные работы, выполненные в 2019 г. на Выгозерском водохранилище, позволили провести реконструкцию седиментационного режима водоёма в позднеледниковье и голоцене под воздействием климатических и антропогенных факторов (от ленточных глин приледникового водоёма — к илам изолированного водоёма и антропогенно-модифицированным осадкам водохранилища). Проведены качественная и количественная оценки изменений донных отложений. Показано, что в результате создания водохранилища (с 1930-х гг.) на его дне аккумулировались бурые органические илы (440 млн м³, 170 млн т), объём которых в разы превышает объём озёрных осадков (150 млн м³, 50 млн т), накопленных за период голоцена; объём чёрных техногенных илов, связанных с деятельностью целлюлозно-бумажного комбината, достигает 12 млн м³, 2 млн т. Выявлено, что изменение в распределении гранулометрического состава, количественных и качественных характеристик органического вещества и тяжёлых металлов в донных отложениях маркирует основные события превращения озера в водохранилище: затопление и завершение процесса переформирования котловины водоёма [9 ; 10].

Организация экспедиционных исследований в 2019 г. с использованием НИС «Эколог» и «Посейдон»

В рамках выполнения тем госзадания Института водных проблем Севера Карельского научного центра РАН (ИВПС КарНЦ РАН) «Эволюция озёрно-речных систем Севера России. Реакция на антропогенные воздействия и изменения климата в Северном полушарии» (№ АААА-А17-117040610312-0) и «Закономерности формирования биопродуктивности разнотипных озёр Северо-Запада России в современных условиях» (№ АААА-А18-118032290035-2) состоялось 5 экспедиций. В период 20–31 мая 2019 г. с использованием научно-исследовательского судна «Посейдон» для пополнения данных о состоянии экосистемы Петрозаводской губы в период весеннего перемешивания воды на 8 станциях были отобраны пробы воды и донных отложений. Во всех экспедициях параллельно с отбором проб измерялась прозрачность воды с помощью белого диска Секки, температура и электропроводность воды — зондом Cast-Away. Для анализа химического состава воды по показателям минерализации, цветности, pH воды, содержания биогенных элементов, органического вещества, газового состава, содержания Fe_{общ} и Mn были отобраны 14 проб. Для анализа видового состава, структуры, численности и биомассы фитопланктона, содержания хлорофилла а были отобраны 89 проб воды. Оценка показателей планктонного дыхания выполнена на основе анализа 21 пробы воды. Оценка состояния бактериопланктона по показателям выполнена на основе анализа 38 проб воды. Для оценки количества водных грибов были отобраны 14 проб воды, для анализа состояния сообщества зоопланктона — 24 пробы воды, для анализа состояния макрозообентоса — 16 проб донных отложений.

В период летней стратификации, 8–11 августа, с использованием научно-исследовательского судна «Эколог» в основных районах Онежского озера (Петрозаводская и Кондопожская губы, центральная

часть) на 18 станциях были отобраны гидрохимические и гидробиологические пробы. Особое внимание было уделено наиболее загрязненному заливу Онежского озера (Кондопожская губа), где в последние годы размещено большое количество форелевых хозяйств. Для химического анализа были отобраны 45 проб воды. Содержание хлорофилла *a* было определено для 107 проб воды, цветность — для 80 проб. Гидробиологические исследования включали: отбор проб фитопланктона (90 проб), зоопланктона (49 проб), зообентоса (17 проб), отбор проб донных отложений для биотестирования (8 проб). В ходе микробиологических исследований были выполнены: отбор 52 проб воды — для определения общей численности бактериопланктона, сапрофитных и олигокарбофильных бактерий, 20 проб — на выявление водных грибов, 10 проб — на определение продукции и времени удвоения численности бактериопланктона.

С 3 по 13 сентября 2019 г. была проведена комплексная экспедиция на Онежское озеро с использованием научно-исследовательского судна «Посейдон». Работы проводились в осенний период по всей акватории Онежского озера, включая Петрозаводскую и Кондопожскую губы, центральную и южную части озера, а также Повенецкий залив, исток из озера (р. Свирь), приустьевые зоны крупных рек (Вытегра, Андома, Водла, Шуя, Суна) и Кижские шхеры (рис. 3). Пробы на химический анализ воды в сентябре 2019 г. были отобраны на 36 станциях с поверхностного и придонного горизонтов, а в приустьевых зонах рек (6 станций) — только с поверхностных горизонтов. Исследования проводились с целью выявления пространственного распределения тяжёлых металлов (ТМ) в водах озера и основных источников их поступления. В пробах определялись следующие химические компоненты: $C_{орг}$, ХПК, ПО, БПК₅, $P_{общ}$, $P_{мин}$, NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , $N_{общ}$, $N_{орг}$, pH, электропроводность, Cl^- , Na^+ , Fe, Mn, общие ТМ, взвешенные ТМ, растворённые ТМ, взвешенное вещество, лигносульфонаты. Всего было отобрано 63 пробы воды. Согласно новым данным, полученным в ходе осенней съёмки в сентябре 2019 г., Онежское озеро характеризуется низким уровнем загрязнения тяжёлыми металлами. Содержание большинства тяжёлых металлов (цинк, свинец, кадмий и никель) остаётся существенно ниже ПДК для рыбохозяйственных водоёмов. Однако наблюдаются повышенные концентрации Fe, Mn и Cu, связанные с региональными особенностями вод Карелии, что в целом согласуется с более ранними исследованиями, проведёнными в акватории Онежского озера в 1998–2006 и 2015–2016 гг.

В период 21–24 октября 2019 г. с использованием научно-исследовательского судна «Эколог» в Петрозаводской губе, Уницкой губе и Центральном Онеге на 8 станциях был измерен температурный профиль с помощью глубоководного зонда Cast-Away, прозрачность воды — с использованием белого диска

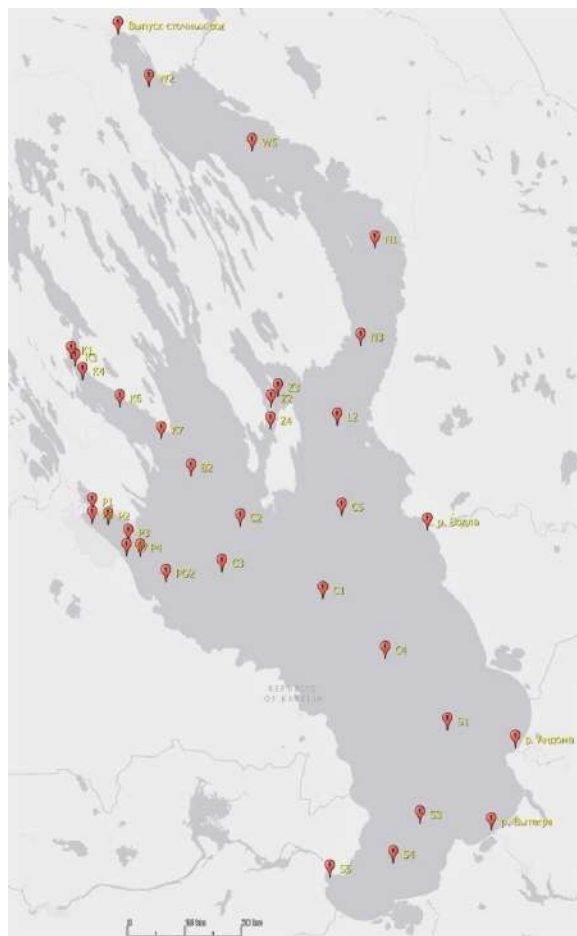


Рис. 3. Расположение станций отбора проб воды в Онежском озере в сентябре 2019 г.

Секки. Для исследования были взяты: 7 проб бентоса и 4 пробы фитопланктона для количественного и качественного анализа, 7 проб донных отложений для биотестирования, 7 проб на содержание в воде хлорофилла *a*, цветности воды и общего фосфора. Для оценки условий обитания донных животных в Уницкой губе Онежского озера, имеющей признаки субаквальной разгрузки, было отобрано 7 проб придонной воды для ИСР-анализа микроэлементов.

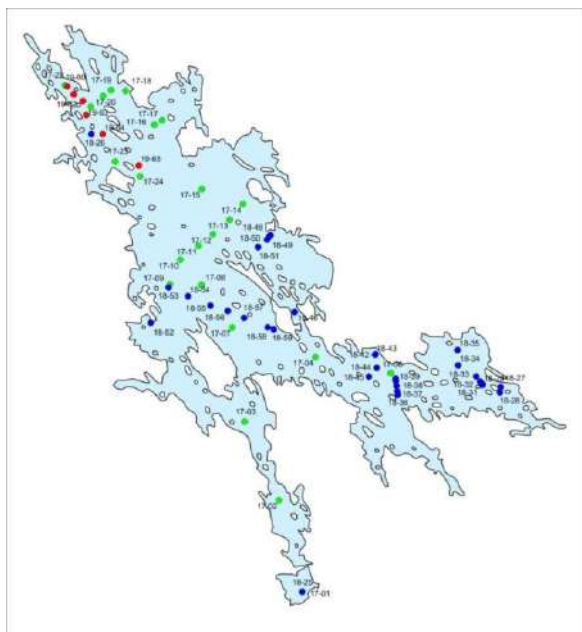


Рис. 4. Станции отбора проб донных отложений на Выгозерском водохранилище: 2019 г. — красные точки, 2018 г. — синие точки, 2017 г. — зеленые точки

Экспедиционные работы на Выгозерском водохранилище выполнялись 17–23 июня 2019 г. с использованием НИС «Посейдон». Схема станций наблюдения представлена на рисунке 4. Целью работ являлось изучение изменений седиментационного режима Выгозерского водохранилища в результате антропогенного воздействия за последние 100 лет. В период экспедиции были проведены снятие и переустановка седиментационных ловушек МСЛ-110 на 3-х станциях. На 4-х станциях в северной части Выгозерского водохранилища для исследования химического состава отобраны пробы воды (6, батометр Рутнера) и донных отложений (25, стратометр Limnos). Выполнено первичное стратиграфическое описание кернов донных отложений Выгозерского водохранилища, определены pH, Eh осадков, изучен газовый состав воды.

В рамках выполнения темы госзадания ИВПС КарНЦ РАН «Пространственно-временная трансформация озерного седиментогенеза гумидной зоны. Поздне- и послеледниковое время»

(№ AAAA-A18-118032290037-6), а также совместных исследований ИВПС КарНЦ РАН, МГУ, СПбГУ, Института геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН (ИГМ СО РАН) с привлечением средств проектов РНФ 18-17-00176 и РФФИ 18050030 в период 16–30 сентября 2019 г. с использованием НИС «Эколог» и НИС «Посейдон» проводились экспедиционные работы и отбор проб воды и донных отложений на Онежском озере. Схема профилей геофизического зондирования Петрозаводской губы представлена на рисунке 5.

Целью работ являлось исследование седиментационного режима Онежского озера на разных этапах его развития. На 26 станциях (Петрозаводская губа, Кондопожская губа, Горская губа, Уницкая губа, залив Большое Онего, Повенецкий залив, Заонежский залив, Челмужская губа, Центральное Онего, Южное Онего) проведены измерения в воде: давления, температуры, электропроводности, мутности, хлорофилла *a* (мультипараметрический зонд CTD–90M). Отобраны пробы воды (батометр Рутнера, батометр Limnos) и донных отложений (стратометр Limnos, трубка ГОИНа, стратометр Перфильева). Всего отобрано (батометр Limnos) и отфильтровано в полевых условиях: 239 проб воды на содержание взвешенных веществ, 74 пробы на содержание Fe, Mn, P и 2 пробы на полный химический анализ, 15 проб поверхностных донных отложений. На 22 станциях проведены снятие седиментационных ловушек, поставленных в 2018 г., и установка новых (МСЛ-110 и УСЛ-100) с экспозицией 1 год.

Проведены пробоотбор кернов донных отложений тяжелыми гравитационными трубками и сейсмопрофилирование в Петрозаводской губе, заливах Большое Онего и Заонежский. Всего отобрано

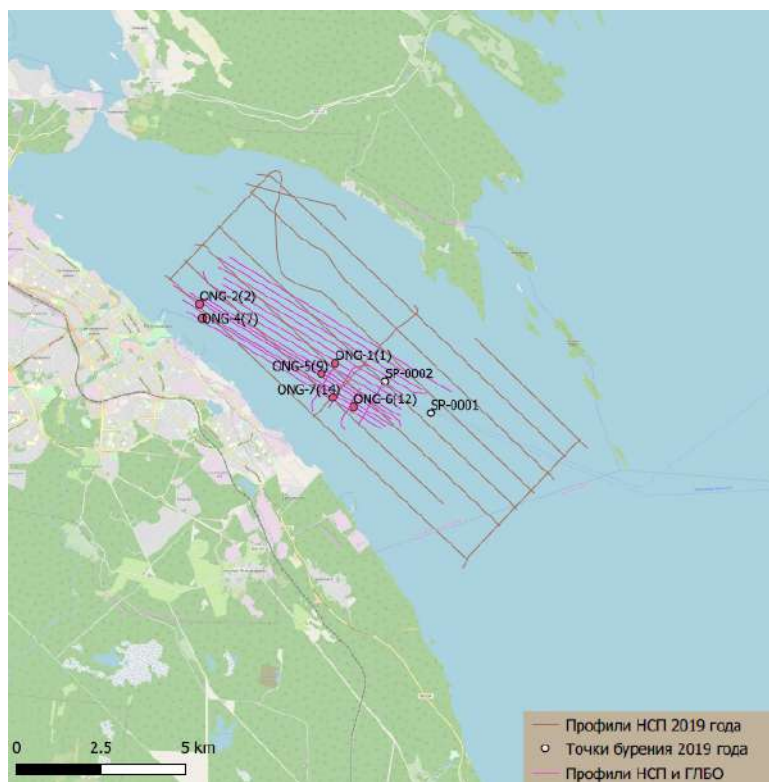


Рис. 5. Карта профилей геофизического зондирования на Онежском озере (Петрозаводская губа, сентябрь 2019 г.)

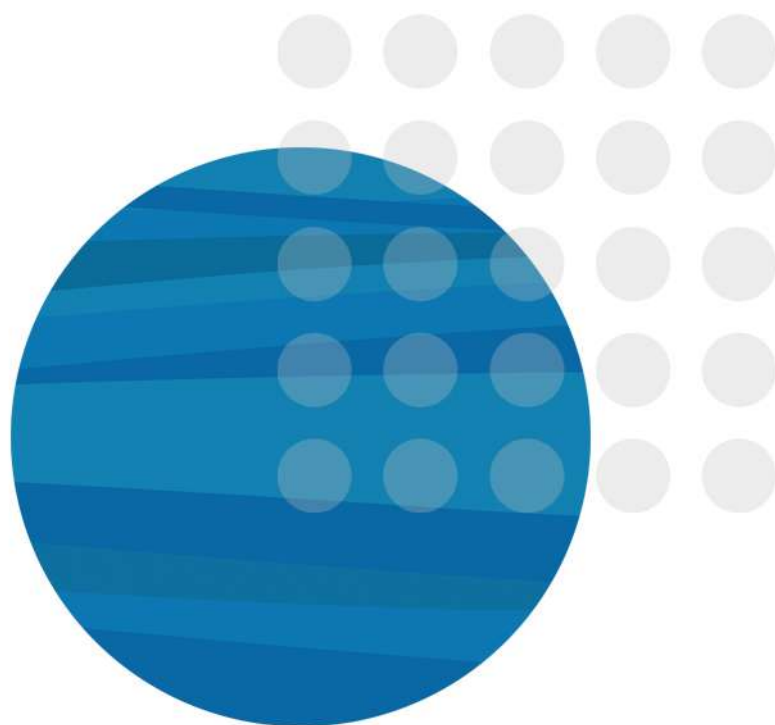
15 кернов донных отложений мощностью до 2,3 м, представленных позднеплейстоценовыми озёрно-ледниковыми и голоценовыми озёрными отложениями, на радиографический и стратиграфический анализы. Все отобранные образцы переданы в аналитические лаборатории ИВПС КарНЦ РАН, МГУ, СПбГУ, ИГМ СО РАН для дальнейшего изучения физическими, химическими, минералогическими, микропалеонтологическими методами. Геофизические материалы в настоящее время также обрабатываются. Всего выполнено 105 погонных километров профилей. В процессе выполнения геофизических работ проведены опытно-методические донные работы по электроразведке на опытном полигоне в Петрозаводской губе, позволившие получить новые данные о строении осадочного покрова и коренных пород.

ЛИТЕРАТУРА

1. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. М. : Росгидромет, 2014. 58 с.
2. Ecosystem consequences of changing inputs of terrestrial dissolved organic matter to lakes: current knowledge and future challenges / Solomon Ch. T., Jones S. E., Weidel B. C., Buffam I., Fork M. L., Karlsson J., Larsen S., Lennon J. T., Read J. S., Sadro S., Saros J. E. // *Ecosystems*. 2015. Vol. 18. P. 376–389. DOI: [10.1007/s10021-015-9848-y](https://doi.org/10.1007/s10021-015-9848-y)
3. Prairie Y. T. Carbocentric limnology: looking back, looking forward // *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2008. Vol. 65. P. 543–548. DOI: [10.1139/f08-011](https://doi.org/10.1139/f08-011)

4. Изменения гидрохимического режима Онежского озера с начала 1990-х годов / Калинкина Н. М., Теканова Е. В., Сабылина А. В., Рыжаков А. В. // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2019. № 1. С. 62–72. DOI: [S2587-55662019162-72](https://doi.org/10.25818/55662019162-72)
5. Современное состояние и трансформация северной части Выгозерского водохранилища / Теканова Е. В., Лозовик П. А., Калинкина Н. М., Куликова Т. П., Полякова Т. Н., Рябинкин А. В., Сластина Ю. Л., Тимакова Т. М., Чекрыжева Т. А. // Труды Карельского научного центра РАН. Водные проблемы Севера и пути их решения. 2011. № 4. С. 50–56.
6. Сидорова А. И., Калинкина Н. М. Инвазия байкальской амфиподы *Gmelinoides fasciatus* в Онежское озеро. Сезонная динамика популяционных показателей. LAP Lambert Academic publishing, 2015. 80 с.
7. Теоретические основы и методы изучения флюоресценции хлорофилла : учеб. пособие / Гольд В. М., Гаевский Н. А., Григорьев Ю. С., Попельницкий В. А., Гехман А. В. Красноярск : Краснояр. ун-т, 1984. 82 с.
8. Чехин Л. П. Световой режим водоемов. Петрозаводск : АН СССР, Карел. фил., 1987. 130 с.
9. Потахин М. С., Белкина Н. А., Слуковский З. И. Исследование донных отложений Выгозера в рейсе НИС «Эколог» летом 2017 года // География арктических регионов 2017 : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 9—10 нояб. 2017 г. СПб., 2017. С. 49–53.
10. Потахин М. С., Белкина Н. А., Слуковский З. И. Трансформация донных отложений Выгозера в процессе хозяйственного освоения // Озера Евразии: проблемы и пути их решения : материалы II Междунар. конф., Казань, 19—24 мая 2019 г. Казань, 2019. Ч. 2. С. 161–166.

Морские экспедиционные исследования в Чёрном и Азовском морях



ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ, ПРОДУКТИВНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ ПЕЛАГИЧЕСКИХ И ДОННЫХ ЭКОСИСТЕМ ЧЁРНОГО И АЗОВСКОГО МОРЕЙ И АРХИПЕЛАГА КАБО-ВЕРДЕ

Н. В. Бурдиян, Н. Ю. Мирзоева, С. В. Алемов, Т. Я. Чурилова, О. В. Машукова, З. З. Финенко, В. С. Муханов, Е. В. Дмитриева, Д. Н. Куцын

Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»

В 2019 г. Федеральным исследовательским центром «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН» (ФИЦ ИнБЮМ) проведены четыре комплексные экспедиции на НИС «Профессор Водяницкий» (106, 108, 110 и 111-й рейсы) общей продолжительностью 98 судосудок. Основной задачей экспедиционной деятельности ФИЦ ИнБЮМ в рамках государственного задания на 2019 г. было исследование структурно-функциональной организации, продуктивности и устойчивости пелагических и донных экосистем Чёрного и Азовского морей. Также в рамках изучения закономерностей формирования биоразнообразия морских экосистем в период с 23 по 30 октября 2019 г. проведена экспедиция на архипелаг Кабо-Верде.

Предварительные научные результаты, полученные в ходе экспедиционной деятельности на НИС «Профессор Водяницкий»

Радиохемозкологические исследования

Результаты, полученные за период декабрь 2018–2019 гг., показали продолжение вторичного поступления искусственного радионуклида ^{90}Sr в акваторию Чёрного моря. Наблюдается хроническое поступление растворённого ^{90}Sr в район северо-западной части Чёрного моря (Каркинитского залива), а также с водами Азовского моря — в северо-восточную часть Чёрного моря, постепенно перераспределяясь в его глубоководные территории. По уточненным прогнозным оценкам, концентрация ^{90}Sr , поступающего с водами Днепра в северо-западную часть Чёрного моря, достигнет доаварийного¹ уровня к 2024 г.

Показано, что в современный период происходит хроническое поступление ^{137}Cs (рис. 1 и 2) из северо-западной части Чёрного моря, куда воды Днепровско-Бугского лимана приносят аварийные радионуклиды. При этом уровни ^{137}Cs снижаются к западной халистазе. Факторы снижения обусловлены увеличением глубины акватории, характером седиментационных процессов.

Для Азовского моря было рассчитано распределение ^{137}Cs между водой, взвешенным веществом и слоем донных отложений толщиной 0–5 см. Значения удельного запаса цезия в компонентах экосистемы были усреднены по всем исследованным станциям и составили для грунта — $551 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-2}$, для воды — $68 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-2}$, для взвеси — $5 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-2}$. В процентах от суммарного запаса ^{137}Cs распределение между донными отложениями, водой и взвешенным веществом было равно 88, 11 и 1 % соответственно. Доля ^{137}Cs во взвешенном веществе Чёрного и Азовского морей по сравнению с растворённой формой цезия в толще морских вод составляет: 9,3 % — в Азовском море, 0,1 % — в районе западной халистазы Чёрного моря, 0,03 % — в восточной части моря.

¹Авария на Чернобыльской АЭС 26 апреля 1986 г., Припять, Украинская ССР

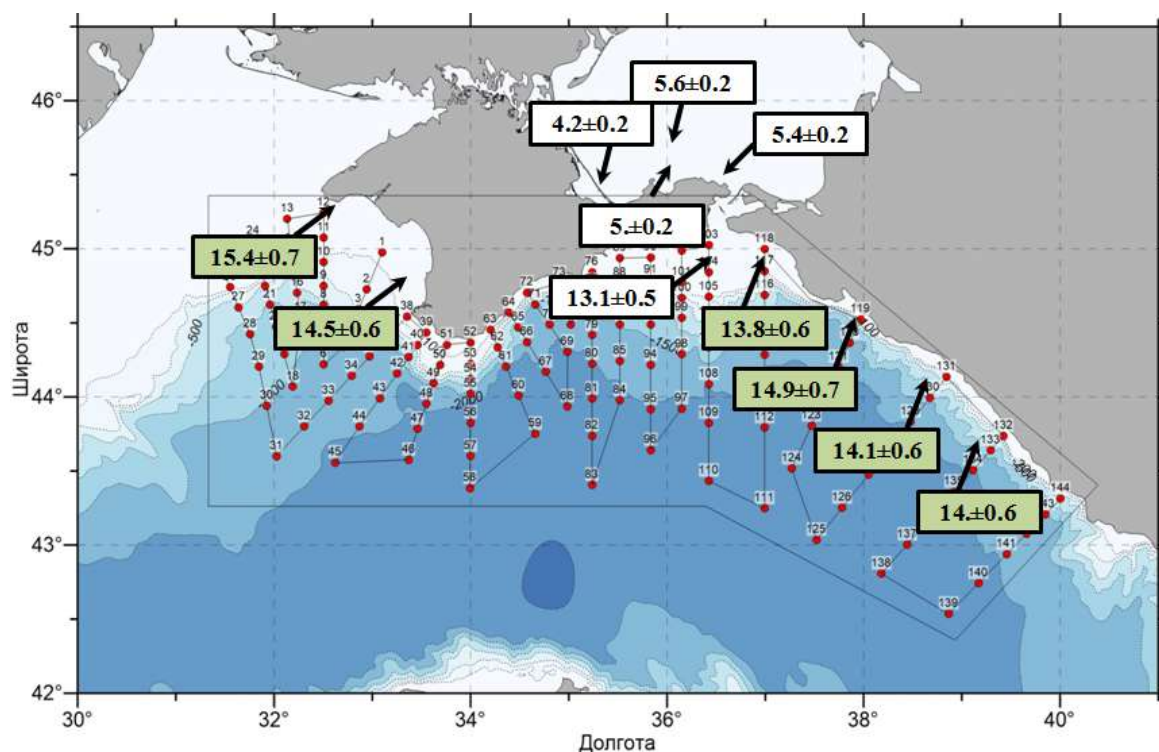


Рис. 1. Концентрация (Бк·м⁻³) ¹³⁷Cs в воде

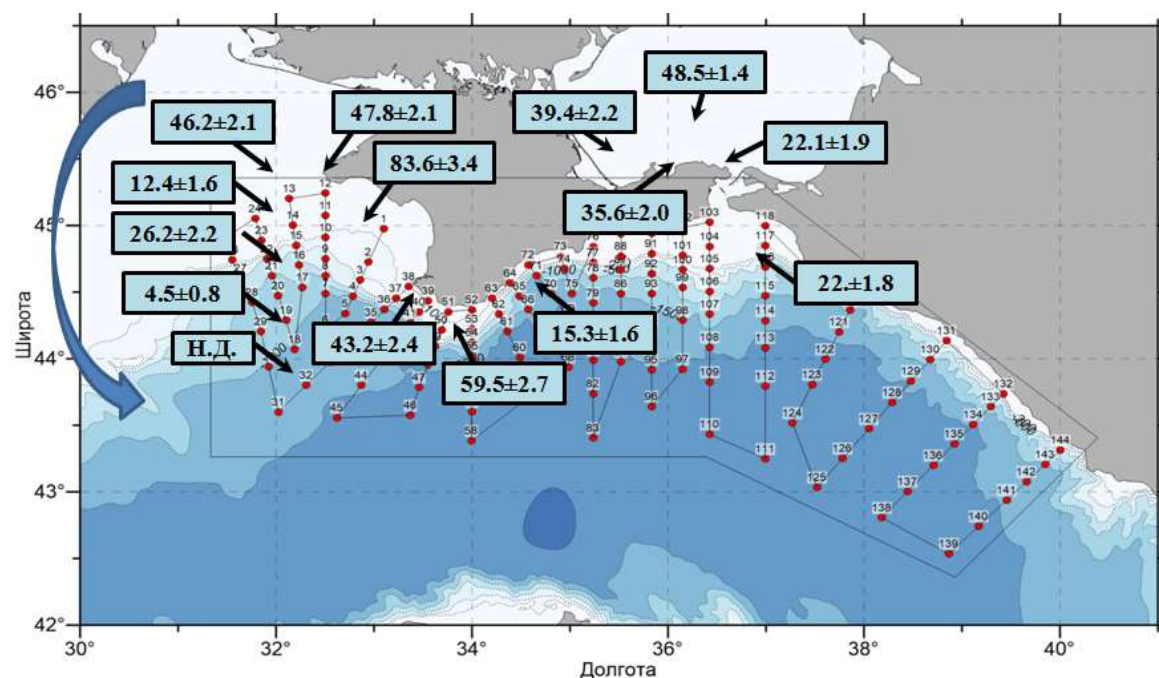


Рис. 2. Концентрация (Бк·м⁻³) ¹³⁷Cs в донных отложениях

Впервые получены данные о вертикальном распределении $^{239+240}\text{Pu}$ в мягких донных отложениях до глубины 17–45 см осадка в южной части Азовского моря и оценены запасы этих изотопов. Наибольшая глубина исследованного слоя отложений (45 см), как и запас $^{239+240}\text{Pu}$, была приурочена к центральной части акватории, где сосредоточена зона активной аккумуляции илов (аккумулятивная равнина Панова). Меньшие запасы $^{239+240}\text{Pu}$ были обнаружены в прибрежных районах с глубиной исследованных мягких донных отложений 17–27 см, в зоне слабой аккумуляции и транзита осадочного материала.

Определено, что, независимо от сезона года, в Чёрном море преобладала растворённая форма ртути (66–86 % от общего содержания ртути). Коэффициент накопления ртути взвешенным веществом ($K_{\text{нвзв}}$) изменялся в диапазоне от $n \cdot 10^3$ до $n \cdot 10^7$. Концентрация растворённой формы ртути в воде составляла $55 \text{ нг} \cdot \text{л}^{-1}$, а в параллельно отобранной морской пене — $200 \text{ нг} \cdot \text{л}^{-1}$. Взвешенная форма ртути в морской воде составила $20 \text{ нг} \cdot \text{л}^{-1}$ и, соответственно, $260 \text{ нг} \cdot \text{л}^{-1}$ — в морской пене. Содержание ртути в морской пене превышало ПДК не только для морской воды, но и для донных осадков. Коэффициент накопления ртути для взвеси, полученной из морской воды, составил $3,8 \cdot 10^4$ и $1,5 \cdot 10^3$ — для взвеси из морской пены.

Создана теория радиоизотопного и минерального гомеостаза морских экосистем [1]. Выявлены биогеохимические механизмы гомеостаза морских биогеоценозов за счёт концентрирующей функции живого и косного вещества, седиментационных процессов, адаптационных, трофических и популяционных характеристик гидробионтов. Установлено, что гомеостаз в экосистемах достигается за счёт существования природных механизмов реализации отрицательных обратных связей по принципу Ле Шателье — Брауна. Полуэмпирическая теория радиоизотопного и минерального гомеостаза экосистем позволяет решать задачи прогнозирования их состояний и нормирования предельно допустимого антропогенного воздействия с использованием параметров экологической ёмкости, ассимиляционной способности биогеоценозов и радиоёмкости водных масс. Предложены методы реализации концепции устойчивого развития критических и рекреационных зон Чёрного моря по факторам загрязнения морской среды посредством регулирования баланса между потреблением ресурсов качества вод и их воспроизводством в результате природных биогеохимических процессов.

Полученные мониторинговые данные по содержанию нефтяных углеводородов в прибрежных водах Крымского и Кавказского побережий России показали, что, несмотря на постоянное присутствие нефтяных углеводородов в морской воде, экологическая обстановка по данному показателю характеризуется как стабильная. Уровни нефтяного загрязнения, несмотря на превышение в отдельных случаях установленных нормативов в 3–4 раза, далеки от поражающих. Наиболее подвержены нефтяному воздействию в настоящее время прибрежные акватории западной части Крыма, что в первую очередь связано со стоком европейских рек и особенностями гидрологического режима моря, а также с тем, что Керченское предпроливье — район интенсивного судоходства. Кавказское побережье в меньшей степени подвержено воздействию нефтяного загрязнения по сравнению с Крымским.

Биооптические исследования

С целью исследования закономерностей пространственного распределения концентрации хлорофилла *a* и фотосинтетических характеристик фитопланктона в период весенней перестройки гидрологической структуры водных масс были выполнены измерения спектральных биооптических показателей вод Азово-Черноморского бассейна. Результаты проведённых измерений в водах с разной гидрологической/гидрофизической вертикальной структурой представляют основу для анализа связи между условиями существования фитопланктона в верхнем квазигоднородном слое (ВКС) и его светопоглощающими свойствами. Это позволит установить количественные связи между концентрацией хлорофилла *a*

и спектральными показателями поглощения света в переходный период между зимой и летом с учётом влияния изменяющегося ВКС на фотосинтетические характеристики фитопланктона, что повысит точность моделирования первичной продукции (спектральный подход) в переходный период.

Биофизические исследования

В процессе исследования пространственной структуры биолюминесцентного поля в летний период было получено 865 профилей интенсивности биолюминесценции, температуры, электропроводности, фотосинтетически активной радиации (ФАР). Биолюминесцентный потенциал зарегистрирован на всех без исключения станциях. Вертикальная структура поля биолюминесценции исследуемых акваторий в любое время суток представлена в виде стратифицированного распределения энергии свечения по всей глубине. Распределение интенсивности биолюминесценции, измеренное в ночное время, характеризуется резкой стратификацией и значительной крутизной перехода от основного максимума к её фоновым значениям. Для дневных профилей распределения интенсивности биолюминесценции отмечено более равномерное распределение интенсивности по глубине. В Азовском море зафиксировано минимальное свечение — $34 \cdot 10^{-12}$ Вт·см⁻²·л⁻¹.

Гидробиологические исследования

В весенний период в поверхностном слое на прибрежных станциях вдоль Крымского побережья содержание хлорофилла составляло 0,4–0,8 мг·м⁻³, в то время как в районе Керченского пролива и на северо-западном шельфе — 0,1–0,2 мг·м⁻³. В Азовском море среднее значение хлорофилла на порядок превышало значения вдоль Крымского побережья. Летом концентрация хлорофилла в прибрежных водах Чёрного моря в среднем составляла $0,25 \pm 0,05$ мг·м⁻³, в Азовском море — $4,51 \pm 1,88$ мг·м⁻³. На станциях с глубиной до 100 м и более глубоких (свыше 100 м) значения хлорофилла не различались. Весной на большинстве станций в Чёрном море максимум концентрации хлорофилла а находился у нижней границы эвфотической зоны, летом — в начале термоклина либо в конце эвфотической зоны. Глубина эвфотической зоны в разные сезоны варьировала от 18 до 45 м. Доля феофитина от общего содержания хлорофилл + феофитин составляла 15 ± 8 %, увеличиваясь с глубиной.

Выполнен сезонный мониторинг зоопланктона в Чёрном и Азовском морях в экономической зоне России. Всего было обнаружено 38 таксонов, пелагические копеподы были представлены в Чёрном море семью массовыми видами, в Азовском — двумя. Численность зоопланктона была существенно выше на северо-западном шельфе и снижалась в направлении открытого моря. Летом суммарная численность зоопланктона в среднем составила: в Чёрном море — 3,6 тыс. экз·м⁻³, в южной части Азовского моря — 1,8 тыс. экз·м⁻³. На долю кормового зоопланктона для рыб приходилось соответственно 3,3 и 1,6 тыс. экз·м⁻³. Доля копепод в численности кормового зоопланктона в обоих морях была более 70 %.

В экспедициях 2019 г. изучалось видовое разнообразие, пространственное распределение и трофические взаимоотношения ихтиопланктонного комплекса в пелагиали Азовского моря, на шельфе и в глубоководных районах Чёрного моря вдоль Крымского полуострова и в восточном секторе экономической зоны РФ. Помимо вышеперечисленного, исследовали количественные показатели и таксономическое разнообразие основных компонентов планктонного сообщества (фито-, мезозоопланктона) в пелагиали Чёрного и Азовского морей. Результаты ихтиопланктонных исследований в Чёрном море, проводимых весной, показали, что видовой состав и численность ихтиопланктона соответствовали

весеннему гидрологическому сезону. Были идентифицированы 9 видов икры и личинок рыб из 7 семейств. Средняя численность икры и личинок составляла 4,06 и 0,99 экз. \cdot м⁻³ соответственно. Умеренноводные виды рыб были представлены икрой и личинками европейского шпрота, икрой мерланга, личинками французской тресочки и мальком средиземноморского налима, теплолюбивые виды — икрой весеннее-нерестующей камбалы калкана, личинками длиннощупальцевой собачки и двумя видами бычков, а также молодью шиповатой иглы. В пробах доминировала икра (93 %) умеренноводного шпрота, икра весеннее-нерестующей камбалы калкана составляла 5,5 %, а доля икры мерланга не превышала 1,5 %. Среди личинок преобладали также умеренноводные виды (80,8 %), доминировали личинки шпрота (74,7 %). Личинки теплолюбивых видов в сумме составляли 19,2 %. В Азовском море видовой состав и средняя численность ихтиопланктона были типичны для весеннего гидрологического сезона. В отличие от Чёрного моря ихтиопланктон был представлен только теплолюбивыми видами рыб: икрой хамсы — *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758), камбалы ромба — *Scophthalmus rhombus* (Linnaeus, 1758) и одной личинкой бубыря мраморного — *Pomatoschistus marmoratus* (Risso, 1810). Средняя численность икры составляла 3,34 экз. \cdot м⁻³, доминировала икра ромба, составляя 80 % от общей численности.

Экспедиция на архипелаг Кабо-Верде

В экспедиции на архипелаг Кабо-Верде участвовали два научных сотрудника ФИЦ ИнБЮМ. Морские сообщества архипелага Кабо-Верде, отличающиеся большим разнообразием и высокой степенью эндемизма, представляют интерес для понимания закономерностей микроэволюционных преобразований в силу изоляции и формирования фаун Средиземноморско-Лузитанской области Мирового океана и Чёрного моря. Основными объектами исследования были рыбы рода *Diplodus* и их паразиты, последние могут служить маркерами как современной структуры видов рыб — их хозяев, так и отражать историю расселения и дивергенции их предшественников. Проведён биологический и паразитологический анализ 55 экз. рыб, отобрано 13 проб для молекулярно-генетического исследования. Получены последовательности двух митохондриальных генов (16S рПНК и *cytb*). Предварительные результаты проведённого на их основе филогенетического анализа показали наибольшую близость (< 1 % генетической дистанции) исследованных рыб к виду *Diplodus cadenati*, который регистрируется на этих островах впервые. Также впервые у этого вида найдены паразитические плоские черви рода *Microcotyle*. Полученный материал позволит провести филогенетический анализ коэволюции этих паразитов и их хозяев — рыб рода *Diplodus* из Восточной Атлантики, Средиземного и Чёрного морей. Кроме того, отобраны пробы диатомовых водорослей как одной из наиболее богатых по числу видов групп морских гидробионтов. Первые результаты обработки проб выявили наличие представителей не менее 14 родов, для которых получены СЭМ-фотографии. Большинство из этих родов указываются для архипелага Кабо-Верде впервые.

Исследования проводились в рамках госзадания по темам ФИЦ ИнБЮМ № 0828-2019-0006, № 0828-2019-0002, № 0828-2019-0003, № 0828-2019-0004 и № 0828-2019-0005.

ЛИТЕРАТУРА

1. Егоров В. Н. Теория радиоизотопного и химического гомеостаза морских экосистем / ФИЦ «Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского РАН». Севастополь : ФИЦ ИнБЮМ, 2019. 356 с. DOI: [10.21072/978-5-6042938-5-0](https://doi.org/10.21072/978-5-6042938-5-0)

ЭКСПЕДИЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЮНЦ РАН НА СУДАХ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ФЛОТА МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ В 2019 Г.

С. В. Бердников

Федеральный исследовательский центр «Южный научный центр Российской академии наук»

В оперативном управлении Федерального исследовательского центра «Южный научный центр Российской академии наук» (ЮНЦ РАН) находятся два научно-исследовательских судна — «Денеб» и «Профессор Панов». Работы выполнялись в рамках государственного задания.

ЮНЦ РАН провел в 2019 г. во внутренних водах 7 экспедиций на НИС «Денеб» и 7 экспедиций на НИС «Профессор Панов» общей продолжительностью 90 судно-суток по каждому судну.

Экспедиции на НИС «Денеб» выполнялись в Азовском и Черном морях в пределах территориального моря и исключительной экономической зоны Российской Федерации в период с апреля по октябрь. Выполнено 197 морских станций.

Экспедиции на НИС «Профессор Панов» были проведены в восточной части Таганрогского залива и по реке Дон на участке от устья до плотины Цимлянского водохранилища в период с апреля по ноябрь. Выполнено 186 станций.

Исследования включали метеорологические наблюдения, вертикальное и горизонтальное зондирование водной среды, отбор проб воды и донных отложений, отбор планктонных проб, проб бентоса, ихтиологические измерения, наблюдение за птицами и млекопитающими. В ходе рейсов на НИС «Денеб» выполнялись непрерывные измерения параметров среды (температура воды, электропроводность, флуоресценция хлорофилла *a*).

Морские исследования были направлены на решение фундаментальных задач в области морской биологии, океанологии, палеогеографии:

- оценка видового разнообразия различных групп морской биоты (микроводоросли, планктонные и донные беспозвоночные, морские, проходные и полупроходные рыбы, водные и околоводные птицы, морские млекопитающие), особое внимание уделялось инвазивным (чужеродным) видам в пелагических и донных сообществах Азовского и Чёрного морей;
- изучение особенностей функционирования и динамики морских систем в условиях климатических изменений и антропогенной деятельности;
- описание палеогеографических особенностей формирования рельефа дна и береговой зоны Азовского моря в позднем голоцене.

Предварительные результаты работ в 2019 году:

1. Впервые после тотальной бентосной съёмки (исследование донной фауны) Азовского моря в 2006 г. и продолжительного периода осолонения моря, начавшегося в 2007 г., была проведена аналогичная бентосная съёмка. Полученный гидробиологический материал находится в стадии обработки. Выявлено увеличение ареала недавнего вселенца — полихеты *Marenzelleria neglecta* (отмеченного впервые в 2014 г. в экспедиции ЮНЦ РАН), которая активно расширяет зону обитания и проникла из Таганрогского залива (места первичной инвазии) в Азовское море (обнаружена также в районе Керченского пролива). На Нижнем Дону наращивает своё присутствие другой

чужеродный вид — двустворчатый моллюск *Corbicula fluminea* (идентифицированный по конхологическим признакам), представляющий существенную опасность для местных гидробионтов и внесённый в список 100 опасных инвазивных видов Европы.

2. Солёность воды в центральной части Азовского моря стабилизировалась на уровне 14–15 ‰.
3. Продолжены наблюдения особенностей адвекции трансформированных морских вод в Таганрогский залив. Судовые наблюдения 2019 г. подтвердили сделанные ранее выводы, что в условиях сильных нагонов при юго-западных ветрах трансформированная черноморская вода достигает восточной части Таганрогского залива и проникает в дельту Дона. Наблюдается перестройка в пресноводной экосистеме дельты в сторону доминирования солоноводных комплексов пелагических и бентических сообществ. Во время нагонных явлений с ростом концентрации взвеси в воде отмечается рост концентрации растворённых форм металлов (особо выражен рост концентрации свинца и меди в поверхностном горизонте; свинца, кадмия и меди — в придонном горизонте). Полученные данные свидетельствуют о значительной роли нагонных явлений в поступлении взвешенных веществ и тяжёлых металлов в дельту Дона со стороны Таганрогского залива, особенно в условиях сокращения жидкого и твёрдого речного стока.
4. Ихтиологические работы в юго-восточной части Чёрного моря выявили снижение плотности скоплений промысловых видов рыб (в первую очередь шпрота *Sprattus sprattus*) в этой части моря по сравнению с предшествующим периодом.
5. Ихтиологические исследования в Азовском море показали увеличение в уловах доли бычка-кругляка *Neogobius melanostomus* и карася *Carassius gibelio* при одновременном снижении встречаемости таких видов, как лещ *Abramis brama*, рыбец *Vimba vimba*, судак *Sander lucioperca*.
6. В ходе осенних морских судовых наблюдений за птицами и морскими млекопитающими в юго-восточной части Чёрного моря выявлено, что 90 % птиц относились к группе «морских». Выраженной миграции птиц вдоль береговой линии не наблюдалось, что, вероятно, связано с погодными условиями в период наблюдений. Массово отмечены два вида черноморских дельфинов — дельфин-белобочка *Delphinus delphis* и черноморская афалина *Tursiops truncatus ponticus*, занесённая в Красную книгу РФ.
7. В морских рейсах на НИС «Денеб» выполнялись калибровка и доработка проточного флуориметра ЮНЦ РАН, разработанного и модернизированного в 2016–2018 гг.

В ходе морских работ выполнялись и прикладные задачи, связанные с оценкой пространственного распределения и динамики ихтиосообществ в Азовском и Чёрном морях (в рамках имеющихся квот на вылов биоресурсов). Результаты исследований переданы в Федеральное агентство по рыболовству.

Материалы океанологических наблюдений за состоянием водной среды в Азовском и Чёрном морях переданы в Гидрографическую службу Черноморского флота РФ (г. Севастополь), Мировой центр данных Росгидромета (г. Обнинск), Северо-Кавказское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (г. Ростов-на-Дону).

В каждом морском рейсе принимало участие от 1 до 3 студентов и магистров вузов юга России (Южный федеральный университет, Донской государственный технический университет, Астраханский государственный технический университет).

Экспедиционные исследования ЮНЦ РАН подробно освещались СМИ. По федеральным каналам (ОТР, «Россия 24», «Радио России») прошли 5 новостных сюжетов, опубликованы 9 статей («Поиск», «Российская газета», ТАСС, РИА «Новости»). В региональных СМИ показаны 6 видеосюжетов («Дон ТР», «Дон 24») и опубликованы 14 статей («Комсомольская правда на Дону», «Аргументы и факты Ростов на Дону», «Академия», «Вечерний Ростов», «Молот», «Наше Время», «Приазовье»).

Необходимо усилить материально-техническую базу экспедиционных исследований в акватории Кас-

пийского моря за счёт дополнительных средств на переход из Азовского моря в Каспийское. Также необходимо предусмотреть дооснащение судов современным научным оборудованием, т. к. у имеющихся зондов и пробоотборников заканчиваются сроки эксплуатации.

НИС «Денеб» — единственное научное судно Министерства науки и высшего образования РФ, обеспеченное оборудованием (разноглубинным тралом) в рамках квоты на вылов биоресурсов и опытным персоналом для выполнения ихтиологических исследований в южных морях России.

В начале 2020 г. предстоит пятилетний ремонт в «класс» для НИС «Денеб» и НИС «Профессор Панов». В 2019 г. разработан проект увеличения пассажироместимости НИС «Денеб» на 4 чел. Реализация этого проекта в рамках пятилетнего ремонта позволит повысить эффективность использования бюджетных средств (стоимость судо-суток на одного научного сотрудника) для продолжения исследований в акватории южных морей России.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИБРЕЖНОЙ ЧЕРНОМОРСКОЙ ЭКОСИСТЕМЫ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕДИЦИИ ИО РАН «ЧЁРНОЕ МОРЕ — 2019» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНИС «АШАМБА»

А. Г. Зацепин

Института океанологии им П. П. Ширшова РАН

Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН (г. Москва) совместно со своим Южным отделением (г. Геленджик) при поддержке Минобрнауки РФ провел комплексную научную экспедицию в территориальных водах российской части Чёрного моря в марте — декабре 2019 года на МНИС БМП-74 «Ашамба» (90 выходов). Экспедиционные исследования были направлены на изучение фундаментальных вопросов взаимодействия экосистем шельфовой зоны и глубоководных районов бассейна, а также на анализ состояния черноморской экосистемы в условиях глобального изменения климата. Задачи экспедиции включали физические, химические, геологические и биологические исследования Чёрного моря и являлись продолжением цикла многолетних исследований, начатых в 1999 г.

В результате регулярных судовых исследований, выполненных в рамках экспедиции 2019 г. и в предыдущие годы, установлено, что состояние прибрежной черноморской экосистемы в северо-восточной части моря в целом является удовлетворительным. Можно констатировать, что оно в значительной степени восстановилось после тяжёлого кризиса конца восьмидесятых — начала девяностых годов прошлого века. Эвтрофикация вод отсутствует, негативное воздействие гребневика-вселенца *Mnemiopsis leidyi* на мезозoopлankтон и личинки рыб не прослеживается. Бентосные сообщества показывают тенденцию к восстановлению биоразнообразия видов.

Насущной проблемой является загрязнение вод, обусловленное береговым стоком, поступлением вод Азовского моря через Керченский пролив, а также очаговые загрязнения прибрежных акваторий, охваченных интенсивной портовой, хозяйственной и рекреационной деятельностью (пример — Геленджикская бухта). Вызывает озабоченность рост температуры деятельного слоя моря, связанный с глобальным потеплением климата. За последние 25 лет среднезимняя температура поверхности моря повысилась более чем на 2 °С, а холодный промежуточный слой в его классическом определении (слой воды с температурой ниже 8 °С) формируется не чаще, чем раз в несколько лет (последний раз зимой 2017–2018 гг.). Потепление климата приводит к ослаблению зимней конвекции, редукции вертикального переноса растворённого кислорода и других биогенных элементов в деятельном слое моря. Кроме того, увеличение температуры морской среды увеличивает риск вселения новых видов в черноморскую экосистему, которые могут нанести ей непредсказуемый урон.

ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЧЁРНОГО И АЗОВСКОГО МОРЕЙ В 2019 Г.

С. К. Коновалов., Ю. В. Артамонов, А. В. Гармашов, Н. А. Орехова*

Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт РАН»

*natalia.orekhova@mhi-ras.ru

Ввиду исключительного географического положения и особенностей структуры водной толщи (наличие сероводородного слоя ниже глубин 120–150 м) Чёрное море является объектом повышенного внимания и активных исследований. Прежде всего, от состояния самого моря и от уровня представлений о процессах эволюции экосистемы моря зависят условия жизни людей и возможность нормального функционирования и развития значительного количества отраслей реального сектора экономики России, а контроль состояния морской среды и результаты изучения фундаментальных процессов формирования и эволюции свойств морской среды повышают уровень безопасности.

В 2019 г. Федеральным исследовательским центром «Морской гидрофизический институт РАН» (ФИЦ МГИ) было проведено 4 экспедиции на НИС «Профессор Водяницкий» (владелец судна — Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН» (ФИЦ ИнБЮМ), порт приписки — г. Севастополь). Район исследования представлен на рисунке 1.

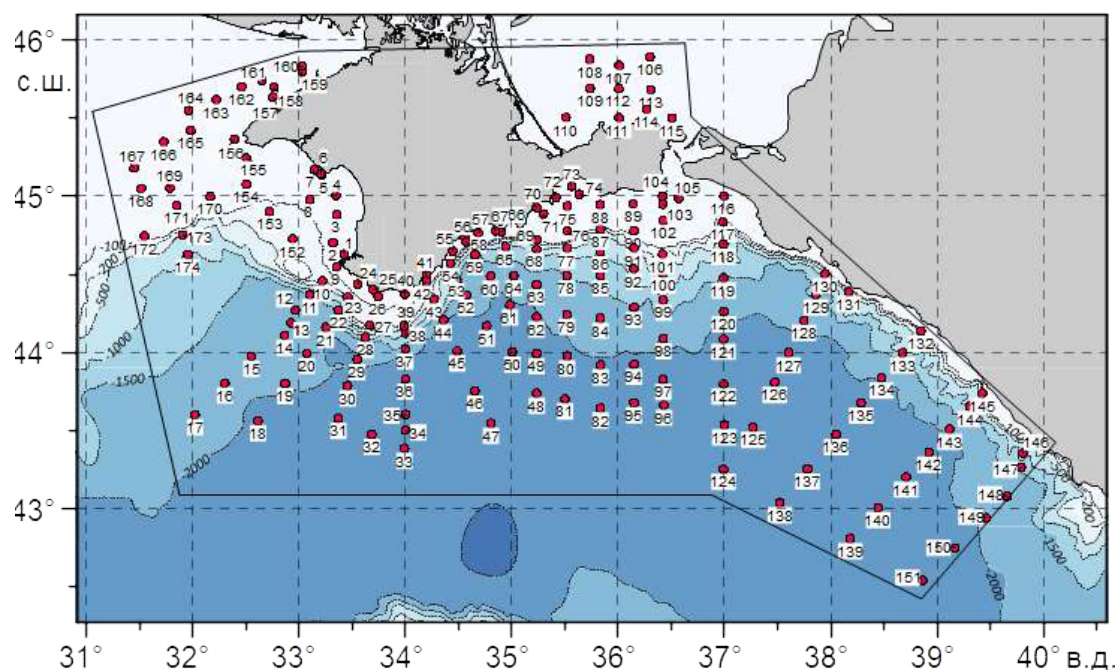


Рис. 1. Район исследования в экспедициях 2019 г.

Совместно с ФИЦ МГИ в экспедициях участвовали сотрудники ФИЦ ИнБЮМ, Института природно-технических систем (ИПТС), Азово-Черноморского филиала Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (АзНИИРХ), Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН (ИО РАН).

Период выполнения экспедиционных исследований охватывает различные гидрологические сезоны, что позволяет изучать сезонную динамику экосистемы Чёрного моря. В 2019 г. экспедиционные исследования на НИС «Профессор Водяницкий» выполнялись: с 18 апреля по 13 мая (106-й рейс), с 11 июля по 06 августа (108-й рейс), с 04 по 23 октября (110-й рейс) и с 06 по 31 декабря (111-й рейс).

В 106-м рейсе принимали участие 26 человек, в том числе сотрудников ФИЦ МГИ — 12, ФИЦ ИнБЮМ — 11, ИПТС — 2, АзНИИРХ — 1, из них в возрасте до 35 лет — 39 %. В 108-м рейсе участвовало 30 человек, в том числе сотрудников ФИЦ МГИ — 12, ФИЦ ИнБЮМ — 16, АзНИИРХ — 2, из них в возрасте до 35 лет — 27 %; в 110-м рейсе — 26 человек, в том числе ФИЦ МГИ — 12, ФИЦ ИнБЮМ — 13, ИПТС — 1, ИО РАН — 1, из них в возрасте до 35 лет — 39 %. В 111-м рейсе участвовало 24 человека, в том числе ФИЦ МГИ — 9, ФИЦ ИнБЮМ — 11, ИПТС — 1, АзНИИРХ — 3, из них в возрасте до 35 лет — 30 %.

В результате экспедиционных исследований на НИС «Профессор Водяницкий» сотрудниками ФИЦ МГИ выполнен комплексный мониторинг состояния гидрологических, гидрохимических, геохимических, метеорологических, гидрооптических характеристик Чёрного и Азовского морей, а также продолжены исследования седиментационных процессов и потоков вещества (постановка и подъём ловушек обеспечивается сотрудниками ИО РАН).

Всего в 2019 г. сотрудниками ФИЦ МГИ выполнен сбор данных на 594 комплексных океанологических станциях. Общий объем работ: 369 зондирований гидролого-гидрохимическим зондирующим комплексом Idronaut Ocean Seven 320 PlusM и 197 зондирований гидрологическим CTD-зондом Sea Bird 911 Plus CTD с кассетой батометров, 565 зондирований акустическим доплеровским измерителем течений Workhorse Monitor 300 kHz ADCP, 60 зондирований гидрологическим CTD-зондом «ГАП-16», 4262 химических анализа проб воды (в том числе на определение растворённого кислорода, сероводорода, биогенных элементов и компонентов карбонатной системы, ^7Be , ^{228}Ra , ^{90}Sr , ^{137}Cs), 13 зондирований гидрологическим CTD-зондом «ШИК-03», 88 зондирований с помощью измерительного комплекса «Сигма 1» (измерение пульсационных характеристик температуры, плотности, скорости течения, электропроводности), 594 измерения гидрометеорологических параметров, 551 измерение показателей ослабления направленного света и спектральных характеристик. Поднята и повторно установлена 1 притопленная буйковая станция (совместно с сотрудниками ИО РАН).

Гидрологические исследования

Результаты геострофических расчётов дают основание полагать, что Основное Черноморское течение (ОЧТ) в пределах полигонов измерений сильно меандрировало все сезоны, при этом интенсивность меандрирования существенно изменялась от съёмки к съёмке. Это проявилось в количестве антициклонических и циклонических меандров, образующихся соответственно к северу и к югу от стрежня ОЧТ.

Пространственная структура меандров ОЧТ нашла своё отражение в глубинах залегания максимума вертикального градиента (ВГТ) и ядра холодного промежуточного слоя (ХПС). Увеличение (уменьшение) глубин залегания этих характеристик соответствовало антициклоническим (циклоническим) меандромам (круговоротам) ОЧТ.

В целом распределения гидрологических характеристик в период съёмок в 2019 г. не выходят за пределы климатических параметров, характерных для района исследований. Полученные данные свидетельствуют о том, что динамические процессы, как и гидрологическая ситуация во время съёмок, находились в пределах естественной изменчивости для данной акватории.

Гидрохимические исследования

В ходе экспедиционных исследований получены новые данные о распределении гидролого-гидрохимических и биогеохимических характеристик морских вод Чёрного и Азовского морей в различные гидрологические сезоны 2019 г. Изучены пространственно-временные особенности распределения кислорода, сероводорода, биогенных элементов и компонентов карбонатной системы. Исследованы пространственное распределение поля концентрации ^7Be и ^{210}Pb и факторы, влияющие на его распределение в водах Чёрного моря. Получены данные о химическом составе поровых вод донных отложений.

Выявлено, что в летний период происходит активное насыщение вод Чёрного и Азовского морей кислородом (до 134 % нас.) за счёт активных процессов цветения фитопланктона. Это подтверждается данными пространственного распределения биогенных элементов.

Прецизионные исследования вертикального профиля кислорода и сероводорода дополнили имеющиеся данные о распределении этих характеристик, что позволило сделать вывод об устойчивости границ субкислородной зоны в Чёрном море.

Анализ распределения гидрохимических параметров указывает на то, что в настоящее время основной вклад в формирование современной структуры экосистемы в прибрежных районах Чёрного моря вносит антропогенный фактор, а в глубоководной части — гидродинамический и климатический. На преобладание вклада антропогенной составляющей в прибрежных экосистемах указывают данные анализа геохимических характеристик донных отложений.

Гидрооптические исследования

По распределению общего взвешенного вещества установлено, что минимальные его концентрации характерны для западной части Чёрного моря, в районе Южного берега Крыма и в глубоководной части моря. Наиболее мутные воды были отмечены в районе Керченского полуострова и в Азовском море. В районе Кавказа наблюдается более высокое содержание взвешенного вещества в глубоководной части, чем в глубоководной части Крымского побережья. У берегов Кавказского побережья обнаружено мутное и опреснённое пятно, локализованное в районе города Сочи. Пространственное распределение общего взвешенного вещества определяется источником его поступления — преимущественно речным стоком. Сезонная изменчивость определяется также биолого-химическими процессами: в летний период в связи с интенсивным цветением кокколитофорид прозрачность вод понижается. Спектральные характеристики полученных данных указывают на преобладание минеральной взвеси в морской воде.

Исследования морской турбулентности

По результатам экспедиционных наблюдений в стратифицированных слоях Чёрного моря в экономической зоне России с использованием высокоразрешающего зондирующего комплекса «Сигма-1» изучалось пространственное распределение интенсивности вертикальной турбулентной диффузии. Оценки выполнены для нижней части деятельного слоя, а также для верхней части основного пикноклина, т. е. выше и ниже максимума градиента плотности. С учётом экспериментальных данных построены модели зависимости коэффициента турбулентной диффузии от частоты плавучести, имеющие практическое значение для определения вертикальных потоков тепла, соли, биогенных и химических элементов и других растворённых веществ. Установлено особое влияние топографии дна на интенсивность турбулентного обмена в зоне сопряжения шельфа и континентального склона Чёрного моря, что связывается с динамикой внутренних волн.

Полученные в ходе экспедиционных исследований данные использовались не только для оценки состояния экосистемы Чёрного моря, но и для валидации моделей и в модельных расчётах.

Выполнено сопоставление полей температуры и солёности, рассчитанных по гидродинамической модели РОМ с высоким пространственным разрешением, адаптированной для Севастопольского региона Чёрного моря, с данными натурных измерений, выполненных с борта НИС «Профессор Водяницкий» в 2018 и 2019 гг. Получены оценки точности прогнозирования полей температуры и солёности для различных сроков прогноза. Оценки осреднены и даны в слоях 0–5, 5–30, 30–100, 100–300, 300–800 и 800–2100 м. Показано, что точность расчёта полей температуры и солёности по модели РОМ падает с увеличением срока прогноза.

В 2020 г. будет продолжена работа по разработке и созданию комплексной системы мониторинга океанологических полей Азово-Черноморского бассейна.

Экспедиционные исследования выполнены в рамках тем государственного задания ФИЦ МГИ: № 0827-2019-0001 «Фундаментальные исследования процессов взаимодействия в системе океан — атмосфера, определяющих региональную пространственно-временную изменчивость природной среды и климата»; № 0827-2019-0002 «Развитие методов оперативной океанологии на основе междисциплинарных исследований процессов формирования и эволюции морской среды и математического моделирования с привлечением данных дистанционных и контактных измерений»; № 0827-2019-0003 «Фундаментальные исследования океанологических процессов, определяющих состояние и эволюцию морской среды под влиянием естественных и антропогенных факторов, на основе методов наблюдения и моделирования»; № 0827-2019-0004 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем прибрежных зон Чёрного и Азовского морей».

ИЗУЧЕНИЕ БИОРАЗНООБРАЗИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ КРЫМА НА МАЛОМЕРНЫХ СУДАХ ФИЦ ИНБЮМ

Н. Ю. Мирзоева, В. Н. Егоров, В. С. Муханов, Н. Н. Терещенко, Л. В. Малахова, Ю. Г. Артемов, Е. П. Карпова, А. Д. Губанова, Т. В. Малахова, Е. А. Тихонова, Д. Н. Куцын, Д. А. Литвинюк, Т. В. Гаврюсева, И. И. Чеснокова, Т. Б. Сигачева, В. И. Мальцев, А. В. Агафонов, И. В. Логоминова, В. Ю. Проскурнин, А. А. Параскив, Е. Н. Скуратовская, Ю. В. Белоусова, Е. Г. Сахонь, О. А. Горбазей, А. А. Коротков, Д. Б. Евтушенко, Л. В. Решетник, И. Н. Мосейченко, С. И. Архипова, В. В. Лобко

Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»

В 2019 г. Федеральным исследовательским центром «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН» (ФИЦ ИНБЮМ) выполнено 96 экспедиций в прибрежных районах Крымского полуострова на маломерных судах «Калкан» и ЯЛ-6 «Аквариум». Основная задача в рамках государственного задания заключалась в изучении биологического разнообразия и оценке экологического состояния прибрежных акваторий.

Оценка экологического состояния прибрежных акваторий

На основе радиоэкологического мониторинга в период 1986–2019 гг. после аварии² на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) выявлены закономерности изменения концентрации ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде и гидробионтах (бурой водоросли цистозире) севастопольских бухт. Определены постоянные по времени экспоненты уменьшения концентраций ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде и водорослях, которые составляют 8,8 и 4,9 года, а также 6,1 и 4,7 года соответственно. Оценён запас ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде, гидробионтах и донных отложениях исследуемых экосистем. Рассчитана скорость и определены биогеохимические факторы самоочищения водной экосистемы севастопольских бухт от поставарийных ^{90}Sr и ^{137}Cs . Выявлены основные факторы самоочищения водной экосистемы от послеаварийных ^{90}Sr и ^{137}Cs : радиоактивный распад, водообмен с открытой акваторией моря и перераспределение компонентов экосистемы.

С помощью ^{234}Th и ^{40}K прослежена сезонная динамика скорости осадконакопления в Севастопольской бухте с разделением на биогенную и терригенную составляющие. Сделан вывод о том, что сезонная вариабельность поступления ^{40}K в донные отложения, в связи с различным содержанием этого радионуклида в биогенном и литогенном веществе в Севастопольской бухте, определяется чередованием биотических и абиотических факторов, к числу которых относится прежде всего динамика фитопланктонных сообществ, особенно в летнее время, а также поступление терригенной взвеси в период более интенсивных атмосферных осадков.

Для оценки поступления радионуклидов из воды в гидробионты был применён такой показатель, как коэффициент накопления (КН). Наиболее высокие значения коэффициента (КН) (104–105) основного дозообразующего радионуклида ^{210}Po были отмечены для двустворчатых и брюхоногих моллюсков и для зоопланктона. Коэффициент накопления ^{210}Po мышечными тканями рыб варьировался

²Авария на Чернобыльской АЭС 26 апреля 1986 г., Припять, Украинская ССР, ныне — Украина

в пределах 103–104, с наибольшими значениями — для мышц пелагического планктонофага атерины (*Atherina boyeri*), с наименьшими — для донного хищника, морского дракона (*Trachinus draco*). Высокие КН характерны также для паразитов, обнаруженных в атерине. Самыми низкими показателями КН среди изученных гидробионтов отличались желетелые, поскольку их тело более чем на 90 % состоит из воды (рис. 1).

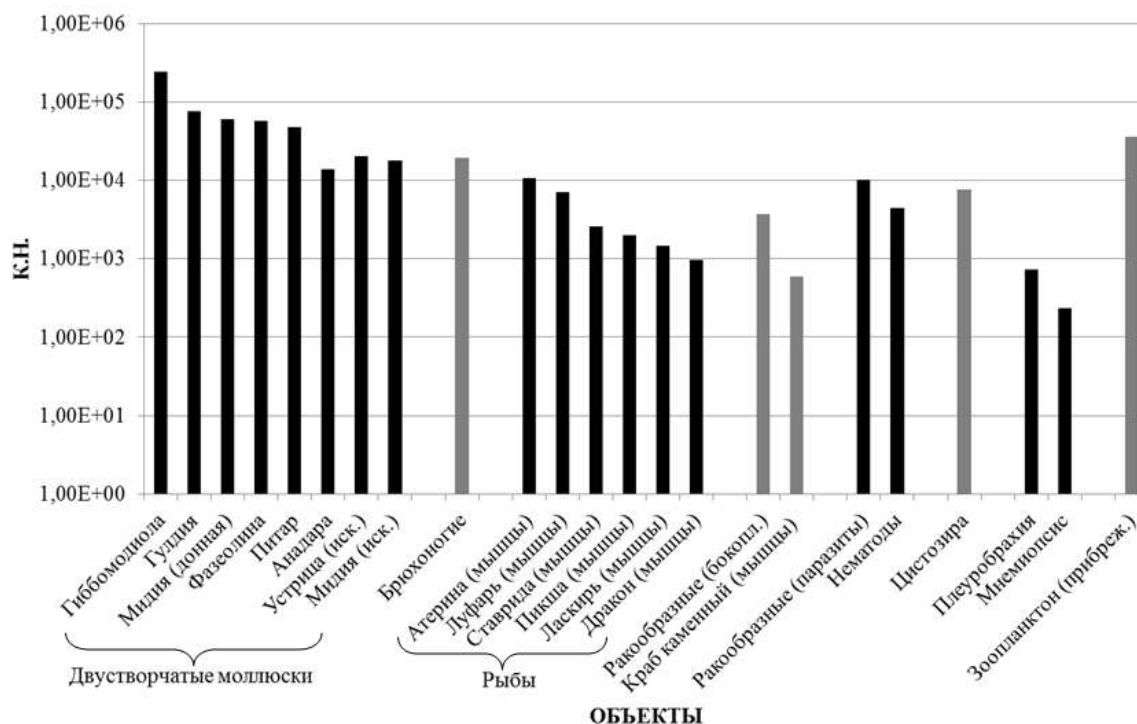


Рис. 1. Коэффициенты накопления ^{210}Po различными гидробионтами Крымского побережья

Исследования уровней содержания техногенных радионуклидов плутония $^{239,240}\text{Pu}$ в воде, донных отложениях и гидробионтах прибрежных акваторий вдоль Крымского побережья, включая Севастопольскую морскую акваторию, позволили установить, что в черноморской воде в среднем концентрация активности $^{239,240}\text{Pu}$ достигала $0,45 \text{ мБк} \cdot \text{м}^{-3}$. Это в 14 раз меньше в сравнении с солёными озерами Крыма (в озёрной воде данный показатель составил $6,5 \text{ мБк} \cdot \text{м}^{-3}$). Концентрации активности радионуклидов плутония в поверхностных донных отложениях и гидробионтах черноморских акваторий были выше по сравнению с солёными озерами, средние значения в илах составляли 743 и $356 \text{ мБк} \cdot \text{кг}^{-1}$, а в водорослях — $31,5$ и $0,54 \text{ мБк} \cdot \text{кг}^{-1}$ соответственно.

Коэффициенты накопления плутония черноморскими илами составляли величины порядка $n \times 10^6$, а в озёрных илах — $n \times 10^4$ соответственно (рис. 2). Такая большая разница в значениях коэффициентов накопления плутония морскими и озёрными осадками связана с более высокими уровнями содержания $^{239,240}\text{Pu}$ в донных отложениях морских акваторий и в то же время значительно более низкими концентрациями активности $^{239,240}\text{Pu}$ в морской воде по сравнению с озёрной. Это отражает особенности перераспределения $^{239+240}\text{Pu}$ в прибрежных черноморских экосистемах с солёностью около 17 ‰ и солёных озерах (где солёность превышала эти значения многократно, а в большинстве озёр превышала 200–300 ‰, за исключением озера Кызыл-Яр, где солёность составляла 3–7 ‰) и указывает на возможное влияние солёности как одного из факторов, определяющих перераспределение радионуклидов плутония между основными компонентами водных экосистем.

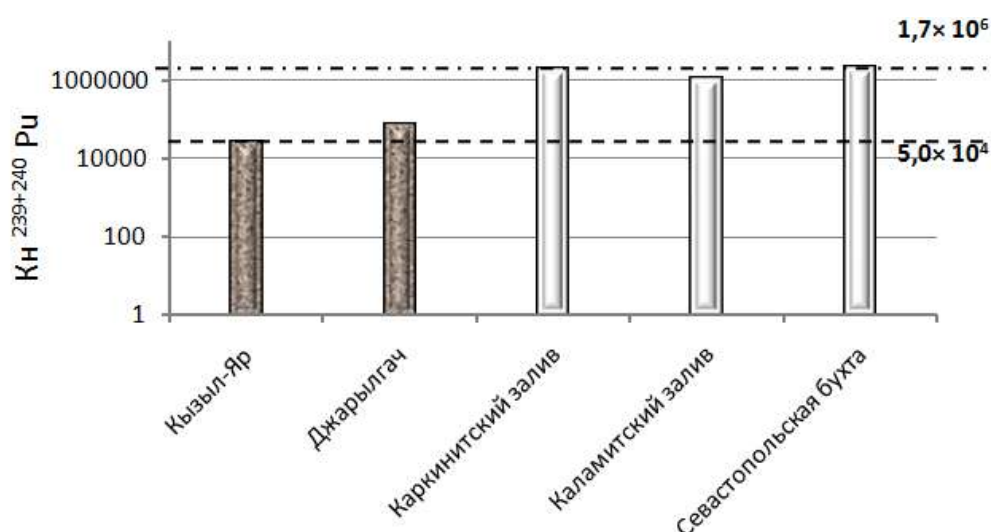


Рис. 2. Коэффициенты накопления $^{239+240}\text{Pu}$ иловыми донными отложениями из прибрежных акваторий Чёрного моря и солёных озёр Крыма и их средние значения

При этом пределы колебаний уровней плутония в морских акваториях были меньше, чем в озёрах, где они превышали один порядок величин, что, вероятно, связано с пространственной разобщённостью озёр, пятнистостью радиоактивных атмосферных выпадений, наличием разных источников вторичного загрязнения и историей поступления радиоизотопов в отдельные озера. А в морских акваториях со временем движение вод способствует выравниванию концентраций активности изотопов в воде, уменьшая градиенты концентраций в акваториях.

Исследована концентрация хлорорганических соединений (ХОС) в донных осадках Севастопольской акватории. Результаты показали высокий уровень суммарного содержания полихлорированных бифенилов ($\Sigma\text{ПХБ}_6$) (сумма конгенов ПХБ по IUPAC: 28, 52, 101, 138, 153 и 180) в толще грунтов Севастопольской бухты, что связано с продолжающимся интенсивным антропогенным прессом на её акваторию в последние годы. При этом процесс загрязнения бухты происходил неравномерно. Показано, что содержание ХОС зависит от гранулометрического состава грунтов. Повышенное содержание илистых фракций в донных осадках способствует накоплению ХОС, поступающих в акваторию. Наименьшее количество ХОС обнаружено в песчанистых донных отложениях.

В результате биогеохимических исследований стока реки Чёрной и восточной части Севастопольской бухты установлено, что общее содержание полиароматических углеводородов (ПАУ) в донных отложениях исследуемого района колебалось от 12 до 670 нг·г⁻¹ сухого осадка. Минимальные значения (12 нг·г⁻¹) были обнаружены в речной части района исследования. Максимальное содержание ПАУ (670 нг·г⁻¹) отмечено в грунтах б. Севастопольской. В устьевой зоне р. Чёрной идентифицировано 14 ПАУ, 4 из них (нафталин, 2-метилнафталин, флуорен, антрацен) — в следовых количествах. Идентифицированные в донных отложениях приустьевой зоны р. Чёрной ПАУ имеют смешанную природу. Их наличие связано как с природными, так и с антропогенными процессами в окружающей среде. Результаты микробиологических исследований показатели, что в воде численность гетеротрофных бактерий составляет от 103 до 108 кл·мл⁻¹, углеводородоксидающих — от 1 до 103 кл·мл⁻¹. В донных отложениях численность гетеротрофных бактерий была от 103 до 108 кл·г⁻¹, углеводородоксидающих — от 10 до 103 кл·г⁻¹, тионовых — от 10 до 103 кл·г⁻¹, сульфатредуцирующих — от 10 до 103 кл·г⁻¹, денитрифицирующих — от 102 до 105 кл·г⁻¹. Полученные данные свидетельствовали о повсеместном распростра-

нении обозначенных групп бактерий в исследуемой части акватории. Отмечено, что в донных отложениях исследуемого района деструкция органического вещества с участием кислорода повсеместно сочеталась с его анаэробной трансформаций.

В результате акустических исследований в прибрежных районах Крымского полуострова обнаружено новое поле выходов струйных газовыделений в диапазоне глубин 13–15 метров в морской акватории особо охраняемой природной территории (ООПТ) «Мыс Мартыян» (рис. 3). Идентификация сипов проводилась параллельным анализом данных, полученных однолучевым эхолотом и локатором бокового обзора. Вертикальная протяжённость газовых факелов составила 9–12 м. На участках газовыделений в морской акватории ООПТ «Мыс Мартыян» обнаружены особенности рассеяния звука верхними слоями донных осадков, что может служить поисковым признаком газонасыщенных слоёв донных осадков в прибрежных районах Крыма.

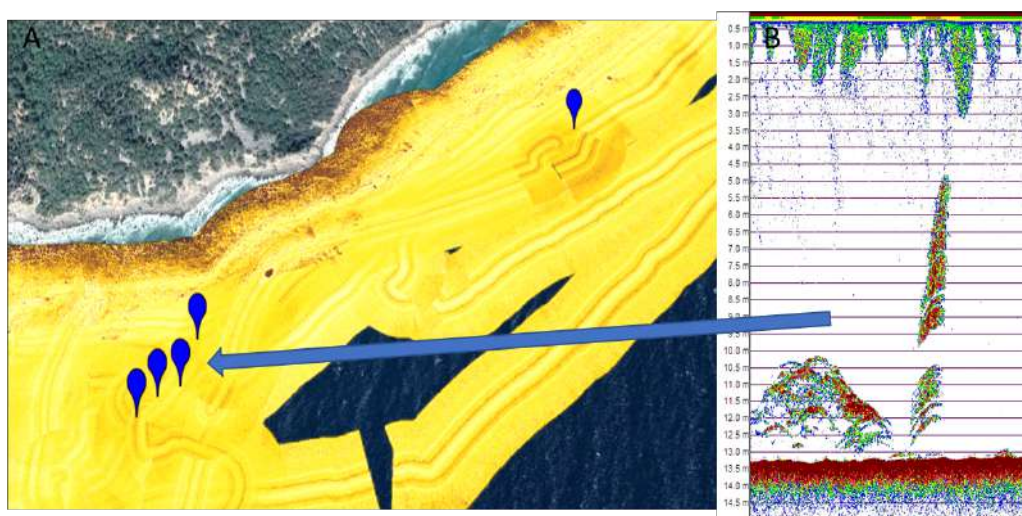


Рис. 3. Ландшафт морского дна в районе природного заповедника «Мыс Мартыян», полученный в ходе эхосъёмки 09.10.2019 г. эхолотом Lowrance 7 Ti (маркерами обозначено положение газовых выходов) и эхограмма одного из струйных газовыделений

Впервые в акватории Чёрного моря (на примере Севастопольской бухты и прибрежных районов) применён международный протокол количественной оценки микропластикового загрязнения морских вод, который включает перекисное окисление содержащейся в пробе органики и плотностное сепарирование частиц микропластика. Для визуализации частиц и анализа их размерного спектра использован новый оригинальный метод полуавтоматического анализа пластикового загрязнения морской среды (рис. 4). Получены первые для Чёрного моря достоверные оценки содержания микропластика в поверхностном слое прибрежных вод ($0,6\text{--}7,0$ частиц·м⁻³, $6\text{--}750$ мкг·м⁻³), которые можно интерпретировать как средний уровень загрязнения.

В серии экспериментов показано, что экзополимеры, продуцируемые фитопланктоном, взаимодействуют с частицами микропластика, способствуют их флокуляции и агрегированию и, таким образом, контролируют их биодоступность и вертикальный транспорт.

Биота прибрежных акваторий

С помощью гидроботанических и гидроакустических методов установлено, что общая площадь макроскопической донной растительности (МДР) в заповедной акватории «Мыса Мартыян» составля-

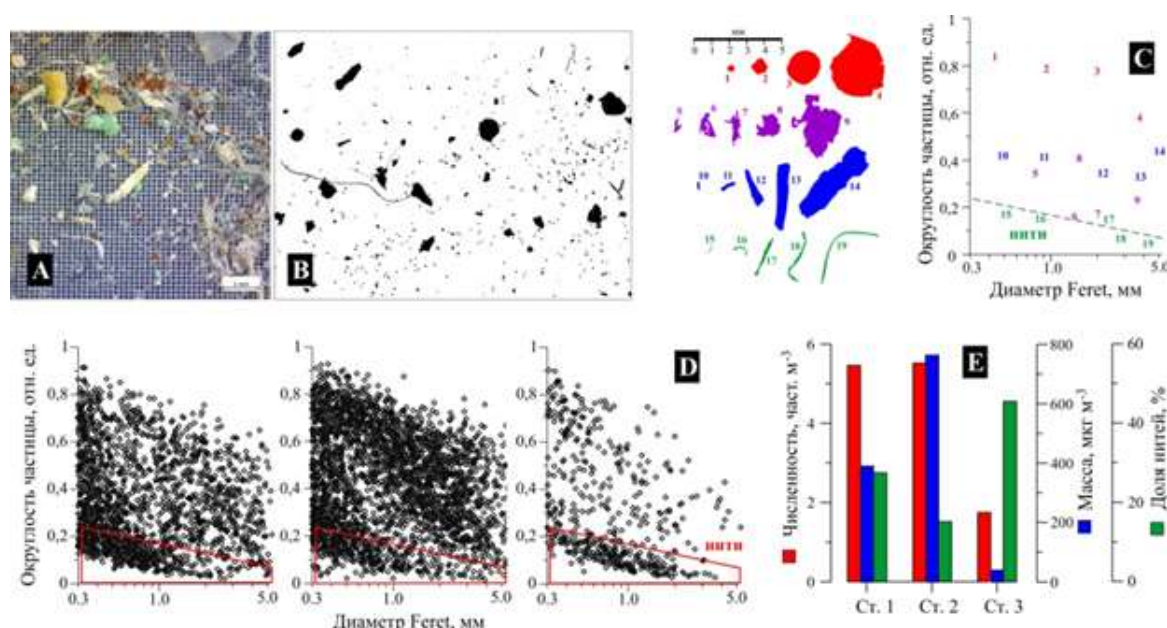


Рис. 4. А, В — проба микропластика на нейлоновом газе и её скан-изображение. С — анализ формы и размерного спектра частиц. D, E — результаты одной из съёмок микропластикового загрязнения на трёх станциях в Севастопольской бухте (май 2019 г.)

ет 0,39 км². Выявленная акустическим методом МДР на большей части обследованной акватории представлена сообществами цистозеры (*Cystoseira barbata* (Stackh.), *C. Agardh* и *C. crinita* Duby), а на рыхлых грунтах в западной части акватории — зарослями взморника (*Zostera marina* L. и *Z. noltii* Hornem.). Показано, что для распределения сублиторальной МДР вдоль берега характерна поясность, а нижняя граница распространения ограничена изобатами 10–12 м. Максимальные значения проективного покрытия, достигающие 95–97 % на глубинах 2–3 м, к нижней границе снижаются до 50–70 %. Определено, что общие запасы сублиторальной МДР достигают 1431,3 т, из которых 99,6 % приходится на сообщества цистозеры.

Морфологическое исследование нового вселенца в Чёрное море — копеподы *Pseudodiaptomus* sp. — показало сходство его особей из Севастопольской бухты с существующими описаниями *Pseudodiaptomus marinus* Sato, 1913. Выводы, сделанные на основе морфологического анализа, были подтверждены результатами молекулярно-генетических исследований. Вселенец *P. marinus* регулярно встречается на двух станциях в б. Севастопольской с июня по декабрь и представлен всеми стадиями развития, включая науплиусы. Это свидетельствует о его размножении и наличии в акватории бухты самоподдерживающейся популяции.

Изучено состояние ихтиокомплексов прибрежных акваторий Юго-Восточного Крыма по данным визуальных учётов. Обилие рыб прибрежного ихтиокомплекса может существенно отличаться даже в пределах одного региона. Значения количества видов и обилия рыб в один и тот же временной период (конец августа — начало сентября 2019 г.) в акватории Тихой бухты превышают аналогичные показатели в акватории у м. Киик-Атлама и Карадагского природного заповедника.

В результате мониторинговых ихтиологических исследований в бухте Ласпи (Юго-Западный Крым), которая находится на стыке континентального и субтропического климатических поясов и имеет высокую интенсивность водообмена с открытым морем, было зарегистрировано 70 видов рыб. Среди отмеченных представителей ихтиофауны 14 видов впервые обнаружены в данной акватории. В большинстве своём это виды-вселенцы, что говорит об интенсивном процессе акклиматизации представителей фау-

ны других водных бассейнов. Общая численность ихтиофауны сублиторали бухты Ласпинская подвержена значительной сезонной изменчивости, основной вклад в которую вносят флуктуации численности ставриды.

В эстуарном экотоне Севастопольской бухты установлена тенденция к снижению видового разнообразия и численности рыб как морского, так и солоновато-водного комплекса в результате интенсивной хозяйственной деятельности и увеличения водозабора из крымских рек.

Изучен возраст, рост и созревание морского ерша *Scorpaena porcus* Linnaeus, 1758 Юго-Западного Крыма в современных условиях. Для исследуемой группировки рыб характерен наиболее низкий темп роста по сравнению со средиземноморскими. Также анализ географической изменчивости указывает на развитие диморфизма морского ерша в северном направлении, что обусловлено адаптивностью увеличения разнокачественности особей у границ оптимальных условий обитания.

Исследована размерно-возрастная структура и рост атерины *Atherina boyeri* Risso, 1810 из акватории Юго-Западного Крыма. В отличие от морского ерша, биология атерины больше связана с режимом солёности, чем с температурой. Так, по темпу линейного роста *A. boyeri* из акватории Юго-Западного Крыма занимает промежуточное положение в ряду с атеринами из других районов бассейна Восточной Атлантики: выше, чем у эстуарных и лагунных форм, обитающих в условиях лабильной солёности, при этом несколько ниже, чем у морских и океанических.

Учитывая высокое значение кефали сингиля *Liza aurata* в региональном промысле, исследованы патоморфологические изменения и биохимические показатели у данного вида для оценки состояния его здоровья. В органах анализируемых рыб обнаружены гистопатологические изменения, относящиеся к пяти типам реакций (нарушение кровообращения, регрессивные и прогрессивные изменения, воспалительные процессы и паразиты). В результате полуколичественного анализа данных гистопатологических повреждений было установлено, что выявленные изменения кефали носят обратимый характер (в большинстве случаев ядра и клеточные оболочки не разрушены), что подтверждается данными биохимических исследований.

Мониторинговые исследования дельфинов у восточного и юго-восточного побережья Крыма проводились с использованием методов визуальной идентификации особей (фотоидентификация и подводная видеосъемка) и «акустической идентификации» по составляемому каталогу «свистов-автографов». «Автографы» афалин представляют собой тональные сигналы (свисты) с уникальной для каждого дельфина формой частотного контура, их можно рассматривать как «акустический маркер» конкретной особи. Сочетание визуальных и акустических методов позволило провести учёт численности и миграций дельфинов, а также описать пространственно-временную структуру их сообществ. Подтверждена выявленная с 2014 г. тенденция к выделению в акваториях юго-восточного побережья Крыма «резидентной» (примерно 60 особей) и «транзитной» (около 500 особей) группировок сообщества афалин. Общее число афалин в Керченском проливе может быть оценено в 25–30 особей.

Получены новые данные о жизненных циклах черноморской трематоды. При обследовании моллюсков *Hydrobia acuta* и *Abra segmentum* впервые в Чёрном море обнаружены и описаны церкарии 5 видов Trematoda — *Cryptocotyle lingua*, *Timoniella imbutiforme*, *Gynaecotyla adunca*, *Parvatrema rebecke*, *Haploplanchnus pachysomus*.

Исследования проводились в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по темам № 0828-2019-0002, № 0828-2019-0003, № 0828-2019-0004, № 0828-2019-0005, № 0828-2019-0006 и № 0556-2019-0009.

ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ТУРБУЛЕНТНЫЙ ОБМЕН В ДЕЯТЕЛЬНОМ СЛОЕ ЧЁРНОГО МОРЯ

А. С. Самодуров, А. М. Чухарев, А. Г. Зубов, О. И. Павленко, В. А. Хлыстов

Федеральный исследовательский центр Морской гидрофизический институт РАН

Процессы вертикального турбулентного обмена в стратифицированных слоях океана играют важную роль в формировании и эволюции наблюдаемых структур в полях температуры, солёности, растворённых химических веществ и зависят главным образом от интенсивности обрушения квазиинерционных внутренних волн. На это явление в свою очередь существенным образом влияют локальная стратификация и динамические условия в бассейне. Известно немало работ по определению зависимости коэффициентов вертикальной турбулентной диффузии K от градиента плотности, который обычно характеризуют частотой плавучести N .

В проводимых исследованиях на основе полуэмпирической модели с использованием анализа данных зондирования установлена зависимость коэффициента вертикальной турбулентной диффузии K от частоты плавучести N в нижней стратифицированной части деятельного слоя Чёрного моря. Измерения проводились в глубоководной области бассейна, в экономической зоне России. Данные собраны с использованием высокоразрешающего зонда-турбулиметра «Сигма-1», созданного в Морском гидрофизическом институте РАН. Аналогичная зависимость для этого слоя была построена на основе полуторамерной модели вертикального обмена в глубоководной области Чёрного моря. Ранее такие же результаты были получены нами в верхнем, «сильно» стратифицированном, и нижнем, «слабо» стратифицированном, слоях основного пикноклина исследуемого бассейна. Анализ степенных зависимостей $K \simeq AN^\alpha \text{ м}^2\text{с}^{-1}$ для трех различных стратифицированных слоёв показал, что определённые и экспериментально и теоретически показатели степени α оказались весьма близки друг другу, в то время как расчетные (полуэмпирические) коэффициенты A оказались заметно больше, чем модельные. Новые собранные данные позволят уточнить значения коэффициентов и понять причины расхождения теории и эксперимента.

ЦИРКУЛЯЦИЯ И ТЕРМОХАЛИННАЯ СТРУКТУРА ВОД СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЧЁРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ В 2019 Г. (106, 108, 110, 111-Й РЕЙСЫ НИС «ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ»)

А. В. Федирко, Ю. В. Артамонов*, Д. В. Дерюшкин, Н. В. Никольский, С. А. Озеров, Е. А. Скрипалева, С. А. Шутов, Р. О. Шаповалов, Ю. И. Шаповалов, С. В. Щербаченко

Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт РАН»

*artam-ant@yandex.ru

Океанографические исследования в северной части Чёрного моря в 2019 г. проводились с борта НИС «Профессор Водяницкий» в рамках государственного задания Федерального исследовательского центра «Морской гидрофизический институт РАН» по проектам «Океанологические процессы» и «Оперативная океанология». В течение года были выполнены четыре съёмки, охватывающие основные гидрологические сезоны: в апреле — мае, июле, октябре и декабре. На каждой станции измерялись: температура и солёность морской воды до глубины 1000 м с помощью CTD-комплекса SBE 911plus, скорость и направление течений в верхнем 200-метровом слое с помощью акустического измерителя ADCP. Предварительный анализ новых данных позволил выявить особенности проявления сезонной и синоптической изменчивости гидрологических полей и сопоставить их со среднемесячными климатическими полями. Фоновые океанографические условия оценивались по данным нового климатического гидрологического массива [1].

Геострофические расчёты и инструментальные измерения течений, по данным четырёх съёмок, в целом показали наличие сезонного сигнала, который качественно согласуется с нормальным сезонным ходом динамики вод в северной части Чёрного моря. Несмотря на то что геострофические скорости заметно пульсировали вдоль потока Основного Черноморского течения (ОЧТ), в среднем наибольший перепад динамических высот через ОЧТ наблюдался в период весенней съёмки (апрель — май), когда, согласно климатическим данным, ОЧТ ещё достаточно интенсивно (рис. 1, 2).

Синоптическая изменчивость в поле течений проявилась в формировании циклонических круговоротов у южных границ полигонов в периоды весенней (рис. 3, а) и летней (рис. 3, б) съёмок. В результате интенсивного меандрирования ОЧТ наблюдаемые циклонические круговороты располагались заметно западнее климатического положения крупномасштабного восточного циклонического круговорота. Осенью над свалом глубин южнее Керченского полуострова сформировался крупномасштабный антициклонический круговорот (рис. 3, в).

В распределениях термохалинных характеристик, по данным четырёх съёмок, сезонный сигнал лучше прослеживался в поле температуры приповерхностного слоя (рис. 4). Максимальные значения температуры на поверхности (28 °C) наблюдались в северо-западной части района работ в период летней съёмки, минимальные (5 °C) — в период зимней съёмки в Азовском море (табл. 1). В поле солёности интенсивная синоптическая изменчивость стока речных пресных вод и выноса азовских вод практически экранировала сезонный сигнал в общем диапазоне изменчивости. Наименьший диапазон пространственной солёности в приповерхностном слое наблюдался в период осенней съёмки, когда ОЧТ ослабевало и вынос распреснённых прибрежных вод в открытую часть моря был минимален.

Сезонные изменения проявились в распределении глубин залегания нижней границы верхнего квазигомогенного слоя (ВКС) и слоя максимальных вертикальных градиентов температуры (ВГТ). Изменение

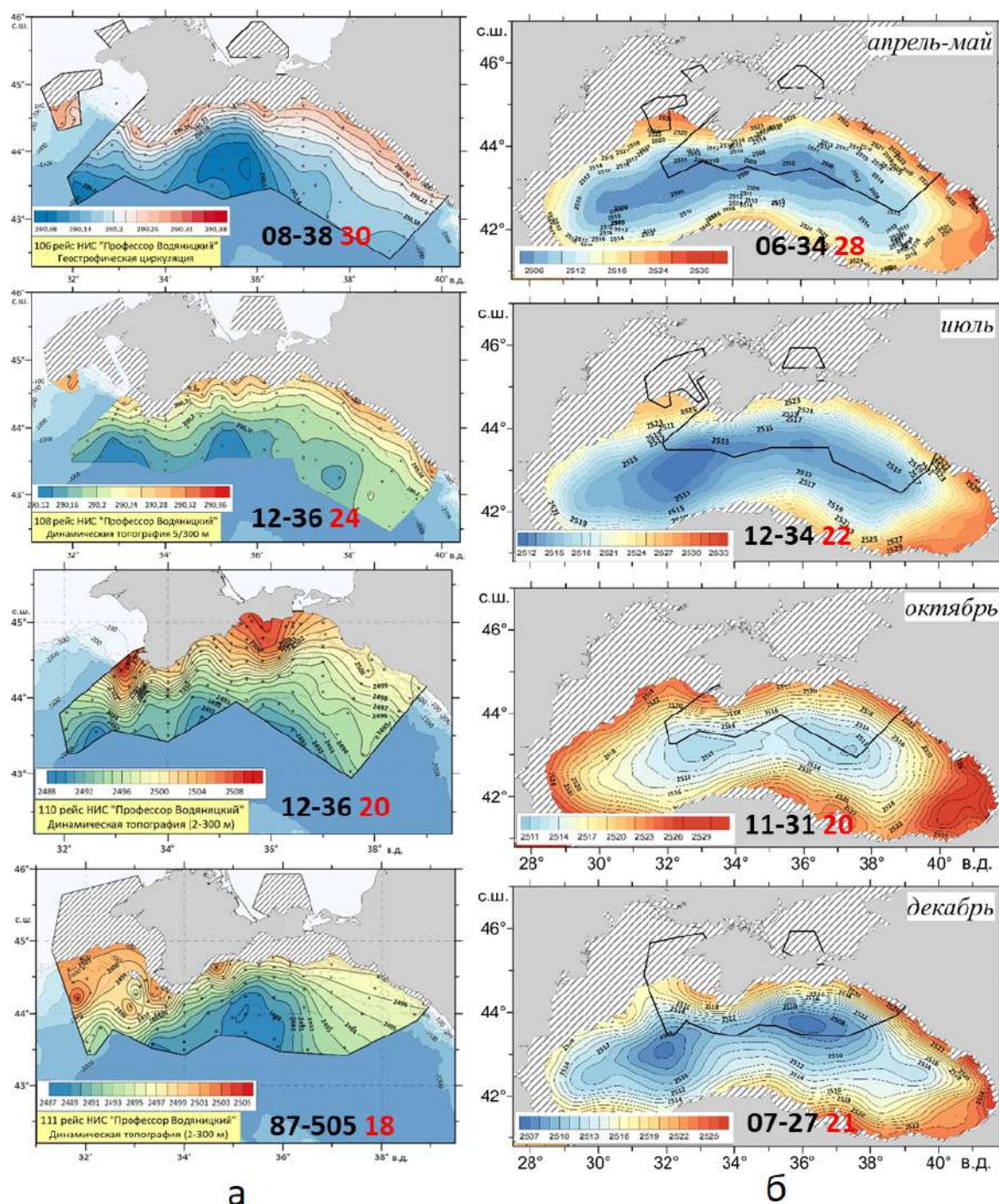


Рис. 1. Динамическая топография на поверхности относительно 300 дб (а) по данным съёмок 106, 108, 110 и 111-го рейсов НИС «Профессор Водяницкий»; (б) по данным климатического массива в апреле — мае, июле, октябре и декабре

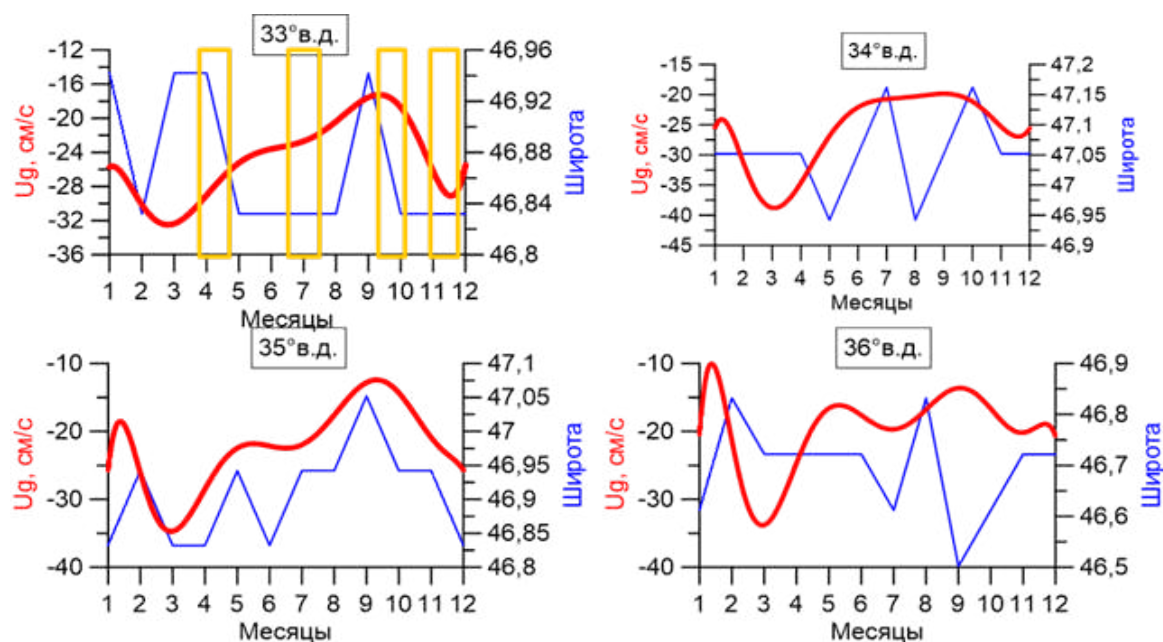


Рис. 2. Внутригодовой ход геострофической скорости (красная кривая) и широты положения стрежня ОЧТ (синяя кривая), рассчитанные по данным климатического массива на 33,0°, 34,0°, 35,0° и 36,0° в. д. Жёлтыми прямоугольниками схематически показано время выполнения съёмки на фоне сезонного сигнала на 33,0° в. д.

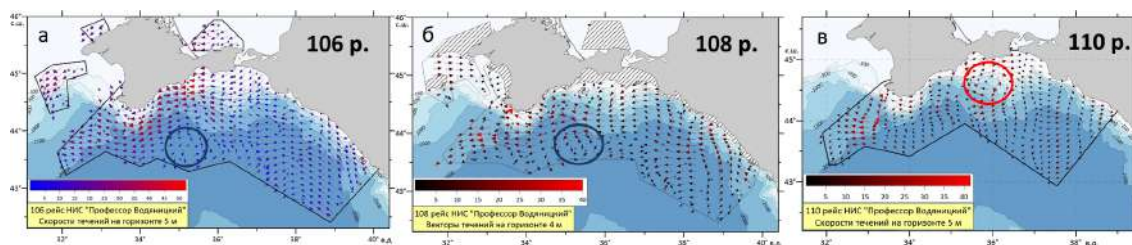


Рис. 3. Распределения векторов течений в приповерхностном слое, построенные по результатам инструментальных измерений в ходе 106 (а), 108 (б) и 110-го (в) рейсов НИС «Профессор Водяницкий». Красной окружностью показано положение антициклонического круговорота, синим — циклонического

Таблица 1

Месяцы	Диапазон температуры, °C	Величина разности	Диапазон солёности, ‰	Величина разности
апрель — май	7,5–17,0	9,5	13,6–19,0	5,4
июль	10,5–27,5	17,0	14,1–18,8	4,7
октябрь	15,5–21,5	6,0	18,22–18,62	0,4
декабрь	5,0–16,0	11,0	14,4–18,8	4,4

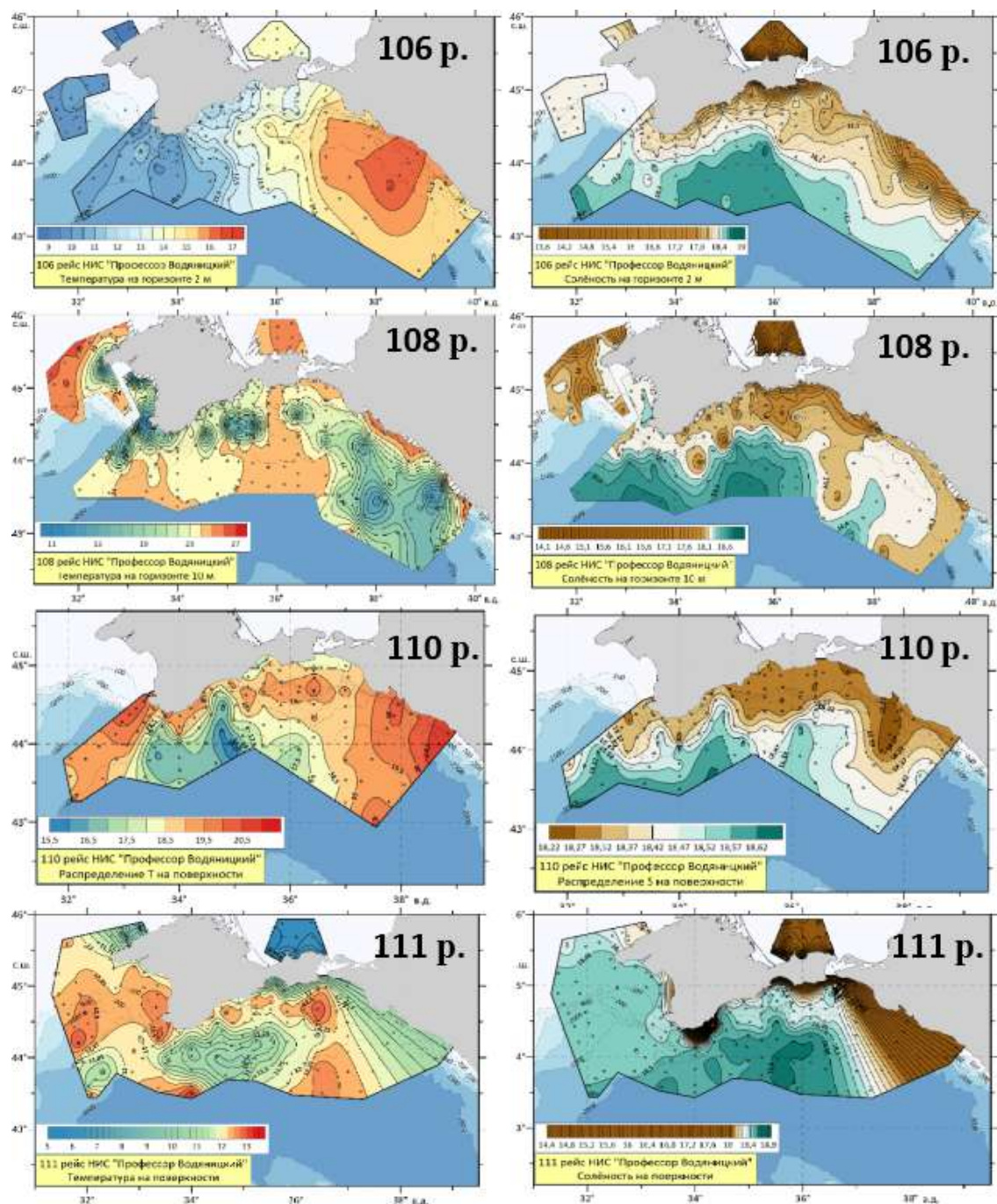


Рис. 4. Распределения температуры (слева) и солёности (справа) в приповерхностном слое по данным съёмок 106, 108, 110 и 111-го рейсов НИС «Профессор Водяницкий»

диапазона пространственной изменчивости этих характеристик косвенно отражает изменение наклона изоповерхностей в зоне ОЧТ и тем самым качественно характеризует его интенсивность. Минимальные диапазоны изменчивости глубин залегания нижней границы ВКС и максимального ВГТ (менее 20 м и 26 м соответственно) наблюдались в июле (108-й рейс), когда ОЧТ ослабевало, максимальные (75 м и 90 м соответственно) — в апреле — мае (106-й рейс) в период усиления ОЧТ (рис. 5).

В распределениях глубин залегания ядра холодного промежуточного слоя (ХПС) и верхней границы сероводородной зоны по изопикне 16,2 усл. ед., по данным выполненных съёмок, сезонные изменения были менее выражены (рис. 6). Можно отметить, что максимальные диапазоны пространственной изменчивости глубин залегания ядра ХПС и изопикны 16,2 усл. ед. (110 м и 150 м соответственно) наблюдались в апреле — мае (106-й рейс), когда ОЧТ усиливалось. Последующие съёмки фиксировали постепенное уменьшение этих диапазонов (рис. 6).

Синоптическая изменчивость в поле течений (формирование циклонических и антициклонических круговоротов) отразилась в распределении глубин залегания ядра ХПС и изопикны 16,2 усл. ед. В зоне циклонических круговоротов в период весенней и летней съёмок отмечались минимальные глубины ядра ХПС и изопикны 16,2 усл. ед. (20 и 75 м соответственно). В период осенней съёмки в зоне антициклонического круговорота над свалом глубин южнее Керченского полуострова глубина залегания ядра ХПС и изопикны 16,2 усл. ед. достигала 100 и 160 м соответственно.

Предварительный анализ результатов измерений в период съёмок 106, 108, 110 и 111-го рейсов «Профессор Водяницкий» показал, что в целом распределения гидрологических характеристик не выходят за пределы климатических параметров, характерных для района исследований. Полученные данные свидетельствуют о том, что динамические процессы, как и гидрологическая ситуация во время съёмки, находились в пределах естественной природной изменчивости для данной акватории.

ЛИТЕРАТУРА

1. Belokopytov V. N. Retrospective Analysis of the Black Sea Thermohaline Fields on the Basis of Empirical Orthogonal Functions // *Physical Oceanography*. 2018. Vol. 25, № 5. P. 380–389. DOI: [10.22449/1573-160X-2018-5-380-389](https://doi.org/10.22449/1573-160X-2018-5-380-389).

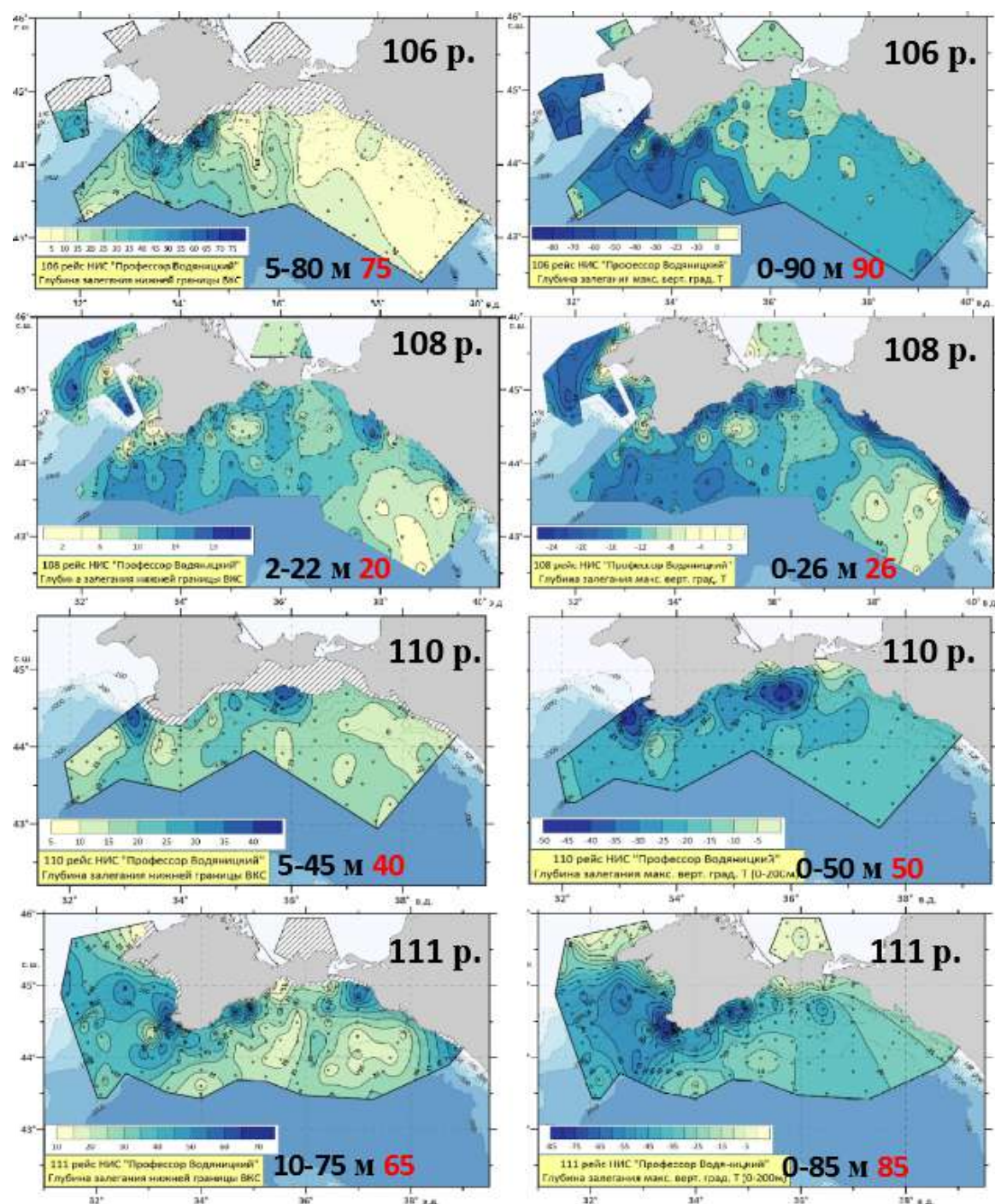


Рис. 5. Распределения глубины залегания нижней границы ВКС (слева) и максимального ВГТ (справа) на поверхности по данным съёмок 106, 108, 110 и 111-го рейсов НИС «Профессор Водяницкий»

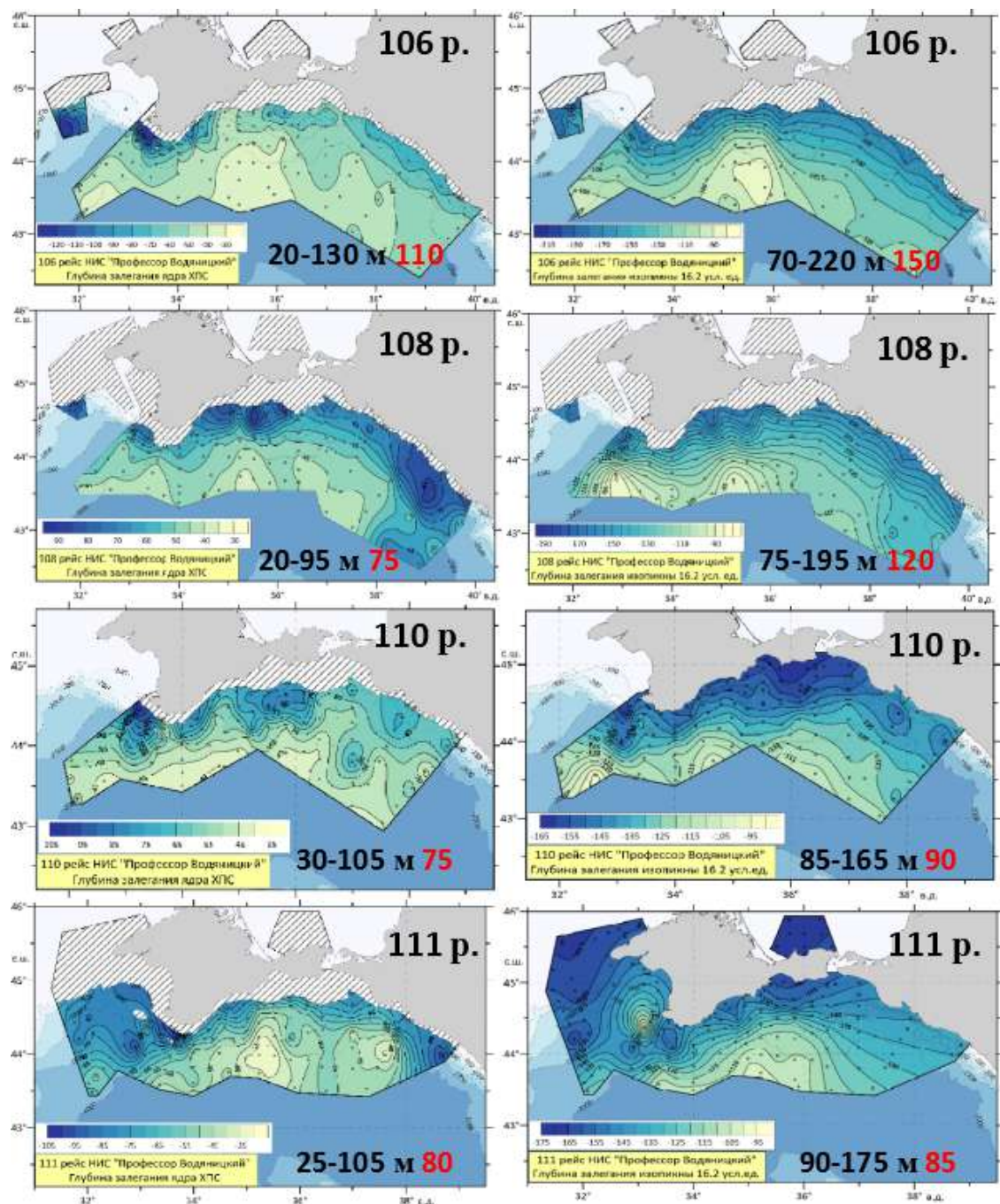
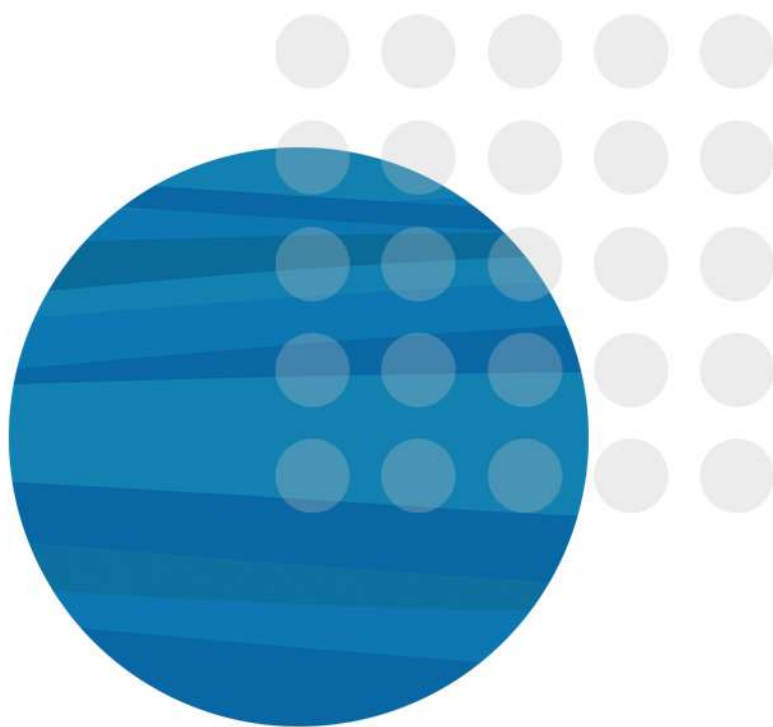


Рис. 6. Распределения глубины залегания ядра ХПС (слева) и изопикны 16,2 усл. ед. (справа) по данным съёмок 106, 108, 110 и 111-го рейсов НИС «Профессор Водяницкий»

Комплексные исследования на архипелаге Шпицберген



МОНИТОРИНГ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ ИС-ФЬОРДА В 2019 Г.

В. Л. Державин, А. Б. Колесников

Институт археологии РАН

Название проекта: «Проведение фундаментальных археологических исследований по изучению и сохранению исторического наследия на архипелаге Шпицберген. Развитие музейного дела на Шпицбергене».

Цели проекта:

- история освоения архипелага русскими поморами в XVI–XIX вв. и российскими экспедициями в XVIII — начале XX в.;
- выявление, спасение и сохранение объектов историко-культурного наследия, разрушающихся под воздействием природных и антропогенных процессов;
- развитие музейного дела на Шпицбергене.

Методы: при мониторинге археологических памятников использовался квадрокоптер, проводилось визуальное обследование.

Полевые работы:

- 1) **мыс Старостина.** Работы заключались в поисках места расположения поморского кладбища XVIII–XIX вв. на становище Руссекейла, исследованного скандинавской экспедицией в 50-х годах прошлого столетия, которая в то время вскрыла 20 погребений. Но обнаружить его не удалось. Скорее всего, оно скрыто под оползнем правого (восточного) берега реки.
- 2) **залив Трюггхамна.** Памятник на северном берегу Ис-фьорда состоял из нескольких разновременных объектов: одиночного поморского дома на берегу, крупного становища на останце, нескольких погребений в гробах, выдавленных мерзлотными процессами на поверхность, нескольких жиротопен, связанных с китобойным промыслом. Все указанные археологические объекты по сравнению с прошлым годом мало подверглись разрушениям природного или антропогенного характера, но некоторые визуальные изменения с ними все же происходят, особенно с погребениями. Общая их датировка — XVII–XIX вв. Жиротопни на территории памятника зафиксировать с помощью квадрокоптера практически не удалось. Они выявлены непосредственно на местности при визуальном обследовании.
- 3) **мыс Кокеринесет.** Памятник расположен на западном берегу Грен-фьорда и состоит из следующих археологических объектов: английская жиротопня XVII в. (продолжает постепенно размываться прибойными морскими и внешними водами), трапперская постройка 1901 г. (видимо, так же остаётся объектом внимания туристов и служит местом их непродолжительного отдыха).

К северу от трапперской постройки, на первой морской террасе, располагается крупный поморский хозяйственно-промысловый комплекс с ярко выраженной обводкой дренажных канавок. Заметных следов каких-либо разрушений на объекте не выявлено. На второй террасе зафиксированы несколько погребений в деревянных гробах, слегка выдавленных на поверхность предположительно китобойного кладбища.

Развитие музейного дела. Во время работы в Svalbard Museum в норвежском посёлке Лонгьербюене было обработано (оцифровано) более 80 неопубликованных индивидуальных археологических находок с поморских становищ Шпицбергена, исследованных в прошлом столетии польскими и норвежскими археологами. Работа проводилась с целью создания банка данных.

ИЗУЧЕНИЕ РАСТИТЕЛЬНО-ПОЧВЕННЫХ РЕСУРСОВ КАК ОСНОВА РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫМИ ПРИРОДНЫМИ ТЕРРИТОРИЯМИ И ОПТИМИЗАЦИИ УСЛОВИЙ ЖИЗНИ НА АРХИПЕЛАГЕ ШПИЦБЕРГЕН

В. К. Жиров, О. Б. Гонтарь

Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина
Кольского научного центра РАН

В рамках межведомственной программы научных исследований и наблюдений на архипелаге Шпицберген, утверждённой на 2019 год, и государственного задания Полярно-альпийский ботанический сад-институт (ПАБСИ) проводил научные исследования на архипелаге Шпицберген по теме «Растительно-почвенные ресурсы, совершенствование методов управления охраняемыми природными территориями в условиях климатических изменений и антропогенного воздействия и оптимизация среды обитания человека на архипелаге Шпицберген» (№ АААА-А17-117121120045-5). Научный руководитель темы и ответственный исполнитель — чл.-корр. РАН В. К. Жиров.

Тема включает разделы:

- оценка разнообразия криптогамной биоты и мониторинг растительного покрова (отв. исполнитель — д. б. н. Н. А. Константинова);
- исследование механизмов устойчивости и оценка продуктивности растений разных таксономических групп в высокоширотных тундровых экосистемах (отв. исполнитель — д. б. н. Н. Ю. Шмакова);
- почвенные морфолого-генетические, экологические и биогеохимические исследования окружающей среды (отв. исполнитель — д. б. н. Г. И. Кашулина);
- оптимизация среды обитания человека на архипелаге Шпицберген (отв. исполнители — к. б. н. О. Б. Гонтарь, д. б. н. В. К. Жиров).

В 2019 году экспедиционные работы в рамках Программы фундаментальных исследований государственных академий наук на 2013–2020 гг. проводились по направлениям: экология организмов и сообществ; биологическое разнообразие; почвы как компонент биосферы (формирование, эволюция, экологические функции); эволюция окружающей среды и климата под воздействием природных и антропогенных факторов, научные основы рационального природопользования и устойчивого развития; территориальная организация хозяйства и общества.

Получены следующие результаты:

- впервые составлен аннотированный список печеночников острова Земля Принца Карла (40 видов), свидетельствующий о том, что эта флора является одной из наиболее богатых локальных флор Шпицбергена; определён видовой состав популяций мхов на ледниках Западный Гренфьорд и Тавле (о. Западный Шпицберген); составлен список сосудистых растений залива Дувенфьорден (Duvfjorden Bay);
- впервые подготовлен аннотированный список лишайников для района Innvika Bay (Nordaustlandet) (142 вида), составлен список лишайников о. Баренца (Varentsøya) (174 вида, в том числе 50 ранее не обнаруженных), выявлены два новых (для архипелага Шпицберген) вида сосудистых растений;

- в результате сравнения биохимических и анатомических особенностей заносного и аборигенного видов рода *Taraxacum*, а также аборигенного вида *Rubus chamaemorus* L. выяснена специфика адаптивных модификаций фотосинтезирующего аппарата высших растений в условиях архипелага Шпицберген; установлено, что наиболее эффективная защита местных растений от действия повреждающих факторов арктической среды достигается на уровне анатомических структур, а у заносных растений адаптивные реакции связаны в основном с перестройками мембранных структур;
- установлено, что на горных склонах архипелага Шпицберген изменение высоты не оказывает заметного влияния на температурный режим почв, который зависит от экспозиции и крутизны, а также формы поверхности склона;
- данными психологического тестирования подтверждена эффективность авторской программы ПАБСИ «Экологическая терапия для детей, проживающих в экстремальных условиях Арктики» в отношении 6–7-летних дошкольников пос. Баренцбург архипелага Шпицберген; установлено, что занятия по программе в период входа и выхода из полярной ночи снижают уровень тревожности приблизительно в 3,4 и 4,3 раза соответственно, уровень эмоциональности при этом возрастал соответственно в 3,3 и 10,7 раза.

Всего в исследованиях по данной теме в 2019 г. принимали участие 20 сотрудников ПАБСИ (в т. ч. 1 член-корреспондент РАН, 3 доктора биологических наук, 4 кандидата биологических наук и 2 аспиранта). В экспедиционных работах участвовали 6 сотрудников (в т. ч. 1 аспирант). Общая продолжительность экспедиционных работ на архипелаге Шпицберген составила 64 человеко-дня. По результатам исследований опубликованы 32 научные работы, из них 8 статей в реферируемых изданиях (в т. ч. 2 — в журналах, рекомендованных ВАК, 4 — в Scopus, 2 — в Web of Science и Scopus).

Общее финансирование за отчетный период составило 1 620 тыс. руб.

ПРОВЕДЕНИЕ СТАЦИОНАРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА МАГНИТНЫМИ И ОПТИЧЕСКИМИ ЯВЛЕНИЯМИ НА АРХИПЕЛАГЕ ШПИЦБЕРГЕН, ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ВЫСОКОШИРОТНОЙ АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

Б. В. Козелов

Полярный геофизический институт

В 2019 году в обсерватории «Баренцбург» (Шпицберген) Полярный геофизический институт (ПГИ) продолжал регулярные стационарные наблюдения:

- вариаций электромагнитного поля в широком диапазоне частот,
- полярных сияний,
- потоков космических лучей,
- сигналов спутниковых навигационных систем,
- астроклимата Шпицбергена.

Объектом исследования является высокоширотная ионосфера и атмосфера арктической зоны (архипелаг Шпицберген). Непосредственно предметом изучения — геофизические процессы и явления, солнечно-земные связи, а также электромагнитные поля в широком частотном диапазоне.

Зарегистрировано и обработано 17,2 Тб научной информации. На основе данных наблюдений, полученных за 2019 г. и предыдущие годы, проведены фундаментальные научные исследования солнечно-земных связей и процессов в ионосфере и магнитосфере Земли. В отчёте также представлено текущее состояние аппаратурной базы обсерватории ПГИ «Баренцбург» и описаны проведённые работы по обеспечению функционирования ее инфраструктуры.

Основные научные результаты:

- 1) Проведён комплексный анализ умеренной полярной суббури 7 декабря 2015 г., 17:00–18:30 UT. Использованы данные наблюдений в скандинавском секторе авроральной зоны и в полярной шапке, в том числе в обсерватории «Баренцбург». Сделаны выводы о возможном механизме генерации подобных возмущений.
- 2) Триангуляцией с использованием разнесённых авроральных камер в Баренцбурге получены высоты лучистых авроральных структур на приполюсной границе аврорального овала во время суббури 8 февраля 2019 г., 21:41–21:44 UT. Полученные высоты 150–200 км соответствуют энергиям высыпающихся электронов менее 1 кэВ.
- 3) Выявлены признаки завершения 24-го солнечного цикла в космических лучах. В настоящее время солнечная активность также приближается к минимуму, завершается 24-й цикл. По солнечным данным, минимум активности еще не наступил, однако поток космических лучей на станции Баренцбург уже возрос до уровня, который был зафиксирован в 2009 году.
- 4) Выявлены особенности в вариациях гамма-фона. Большая годовая вариация типична для гамма-фона и наблюдается на других станциях. Как было установлено, амплитуда вариации определяется глубиной снежного покрова. Однако аналогичный детектор заряженных частиц в Апатитах не показывает явной зависимости от наличия снежного покрова, хотя сезонная вариация в данных гамма-излучения присутствует. Эта особенность наблюдалась только в Баренцбурге, и каким механизмом она обусловлена, ещё предстоит изучить.

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОРСКИХ И НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ В РАЙОНЕ АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН В 2019 Г.

Д. В. Моисеев, С. В. Малавенда, И. Ф. Запорожцев, Т. М. Максимовская, Н. В. Лебедева,
Н. И. Мещеряков, Г. В. Ильин, И. С. Усягина

Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра РАН

В 2019 г. на базе биогеостанции Мурманского морского биологического института (ММБИ) в районе залива Грэн-фьорд и прилежащих акваторий проводились исследования водорослей-макрофитов, зоопланктона и зообентоса. Продолжалось изучение орнитологической фауны. В районе озера Бретъёрна проводились седиментологические и радиоэкологические исследования.

Проведены береговые исследования в районе многолетних непрерывных наблюдений на базе биогеостанции ММБИ в Баренцбурге. В летний и осенне-зимний сезоны для дальнейшей обработки и анализа собран огромный объём научного материала по всем направлениям исследований морских и наземных экосистем.

По итогам проведенных полевых работ проанализированы данные не только текущего года, но и предыдущего периода исследований.

Объекты исследований — морские и наземные экосистемы архипелага Шпицберген.

Цель исследований — изучение современного состояния компонентов среды и биоты морских и наземных экосистем в районе архипелага Шпицберген.

Основные результаты

Описана флора макроводорослей залива Грэн-фьорд архипелага Шпицберген. Получены сведения о биомассе макрофитобентоса в целом, отдельных видов и распределении сообществ. Выявлены изменения фитоценозов в сторону увеличения количества и биомассы бореальных видов, связанные с повышением температуры воды. Макрофитобентос Грэн-фьорда в 2013–2014 гг. насчитывал 68 видов. Три вида стали отмечаться на архипелаге только в последнее десятилетие: *Petalonia fascia* (Müller) Kunze, *Punctaria plantaginea* (Roth) Greville и *Stictyosiphon griffithsianus* (Le Jolis) Holmes et Batters. Максимальное значение биомассы водорослей ($32,4 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2}$) отмечено для сублиторальных сообществ устьевой части западного берега фьорда. Вблизи Баренцбурга биомасса водорослей составляла $4,1 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2}$. Увеличения биомассы в многолетней динамике не выявлено. Полученное значение видового богатства макрофитобентоса залива достаточно велико и сопоставимо с показателями некоторых других районов западного побережья о. Западный Шпицберген: Соркаппленд, Конгс-фьорд, Ис-фьорд. Кластерный анализ видовых списков макрофитобентоса различных заливов Западного Шпицбергена показал, что мера сходства, оцениваемая индексом Жаккара, низка для всех районов. Сделан вывод о том, что развитие донных фитоценозов в связи с потеплением климата в Грэн-фьорде выражено, как и в других районах Западного Шпицбергена: изменением сообществ макроводорослей в сторону увеличения количества и биомассы бореальных видов.

Разработана новая методика расчёта и сделана оценка изменений затoka атлантических вод в крупнейший залив арх. Шпицберген — Ис-фьорд — в период с 1993 по 2019 г. Собраны и проанализированы данные о распределении температуры и солёности воды в зал. Ис-фьорд из экспедиций ММБИ и источников открытого доступа (World Ocean Database — https://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOD/pr_wod.html).

Построены профили вертикального распределения на продольном разрезе в Ис-фьорде за период с 1993 по 2019 г. Усовершенствована и адаптирована для Ис-фьорда методика оценки затока вод атлантического происхождения с помощью расчёта площади вод на разрезе, ограниченной определённой изохалиной. По имеющимся данным проведён вычислительный эксперимент, в результате которого показано, что минимальный заток атлантических вод в Ис-фьорд наблюдался летом 2018 г., а максимальный — летом 2019 г.

На основе метода изучения баланса потребления и выведения тяжёлых металлов (ТМ) установлено, что арктические гуси в большей степени аккумулируют кадмий, мышьяк и свинец в сравнении с северным оленем в местообитаниях с разной степенью загрязнения. Выполнен анализ содержания тяжёлых металлов (кадмий, кобальт, марганец, медь, никель, олово, свинец, сурьма, хром, цинк) и мышьяка в наземной экосистеме в окрестностях пос. Баренцбург в градиенте загрязнения от ТЭЦ (арх. Шпицберген). Образцы растительности (мох), экскременты белошекой казарки *Branta leucopsis* и северного оленя *Rangifer tarandus platyrhynchus* были отобраны в июне — июле 2019 г. в трёх местообитаниях, представленных типичной арктической тундрой. Содержание ТМ и мышьяка во всех образцах определяли в химико-аналитической лаборатории Российского научного центра на Шпицбергене (пос. Баренцбург). Концентрации олова и сурьмы во всех образцах мхов и экскрементов гусей и оленей были ниже пределов определения ($< 0,01$ и $< 0,008$ мкг·г⁻¹_{сух.} соответственно). Особенности накопления элементов гусями и оленями были оценены по общей модели баланса: $C1 = C2 - C3$, где $C1$ — концентрация элемента в организме, $C2$ — концентрация элемента в пище, $C3$ — концентрация элемента в экскрементах. Было установлено, что такие высокотоксичные элементы, как мышьяк, свинец и кадмий, гуси аккумулируют в теле в большей степени, чем олени.

Выявлены особенности формирования осадков в заливе Колесбукта. Установлены факторы, определяющие условия осадконакопления в бассейне седиментации. Составлена карта-схема распределения донных отложений в заливе. Определены основные особенности механического состава донных отложений (ДО) озера Танндаммен (Фара). Как косвенный показатель содержания органики в донных отложениях, определены потери при прокаливании (ППП). По результатам исследований установлено, что гранулометрический состав донных отложений залива Колесбукта тесно связан с речным стоком, океанологическими процессами, а также геоморфологическими особенностями депрессии залива. Для литорали залива Колесбукта свойственно формирование разных типов осадков. Гранулометрический состав донных отложений литорали не однороден и меняется в зависимости от локальных условий осадконакопления. В приглубых участках залива формируются осадки, сложенные мелкоалевритовым-пелитовым материалом, местами имеются включения зёрен более крупных фракций. Формирование пелитовых отложений отмечается вдоль восточного борта залива. В озере Фара, от периферии бассейна к центру, прослеживается монотонное уменьшение размерности частиц, слагающих донные осадки. Значения PPP в донных отложениях оз. Фара находятся в небольшом диапазоне от 5,4 до 8,8 %. Возможно, незначительные величины PPP являются отражением угнетающего антропогенного влияния на экосистему озера.

Выполнен анализ радиоэкологического фона на внутреннем шельфе Шпицбергена в условиях современных климатических изменений и деградации ледников. На примере системы залива Ис-фьорд показано, что ледниковый сток определяет уровень обогащения морской среды архипелага техногенными радиоизотопами, ранее погребёнными в ледяном покрове. Показателем роли ледников при текущих климатических условиях служит образование зон импактного загрязнения и вынос во фьорды изотопа ¹³⁴Cs — маркера современных атмосферных выпадений. Деградация ледников повышает вторичное поступление в морскую среду Шпицбергена техногенных изотопов, накопившихся во льдах. Исследовано содержание ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr в компонентах морской среды в системе Ис-фьорда — модельном объекте

внутреннего шельфа Шпицбергена. Содержание ^{137}Cs в верхнем слое распреснённой воды до 50 м составило 1–1,6, а ^{90}Sr — 1,5–3,6 Бк·м⁻³. Слой сформирован при значительном участии стока ледников. Выражены максимум объёмной активности в вершине Билле-фьорда и горизонтальный градиент ее понижения к устью Ис-фьорда. В Билле-фьорде выражен вертикальный градиент концентрации ^{137}Cs , ^{90}Sr , сформированный зимними водами с пониженной концентрацией изотопов. В Грен-фьорде ^{137}Cs (1–1,5 Бк·м⁻³) и ^{90}Sr (2–3,5 Бк·м⁻³) равномерно распределены в водной толще, что соответствует гидрологической структуре вод. Участки роста концентраций определены расположением устьев рек и ручьёв. В котловине Билле-фьорда отмечен максимум концентрации ^{137}Cs и ^{90}Sr . В донных осадках Ис-фьорда концентрация ^{137}Cs и ^{90}Sr снижается. В осадках Грен-фьорда их содержание имеет наиболее низкие значения. Часть загрязнённых осадков вымывается отсюда в Ис-фьорд. Материал морских наблюдений дополнен данными загрязнения наземной среды архипелага — воды приледникового озера Бретъёрна, почвы и мхов в зоне абляции ледника Западный Грэн-фьорд. Было выяснено, что поверхностный слой воды в озере в зимний период не загрязнён радиоактивным цезием. Содержание ^{137}Cs достоверно определено лишь в озёрных пробах с глубин 5 и 15 м. В почвах зоны абляции концентрация ^{137}Cs увеличена в два раза (29,7 Бк·кг⁻¹) по сравнению с 2002 г. (14 Бк·кг⁻¹). Во мхах текущее содержание ^{137}Cs значительно снижено. Однако мхи, в отличие от почвы, могли быть промыты атмосферными осадками. В целом наземными наблюдениями подтверждено, что ледниковый сток определяет уровень обогащения морской среды Шпицбергена техногенными радиоизотопами, погребёнными в ледяном покрове.

Таким образом, в 2019 г. выполнены полевые и лабораторные исследования компонентов морских и наземных экосистем в районе Шпицбергена. Полученные данные и отобранные пробы создали основу для приобретения новых знаний о природных процессах, происходящих в экосистемах архипелага.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО КЛИМАТА

Н. И. Осокин, Д. В. Карелин, А. В. Сосновский, Э. П. Зазовская, Р. А. Чернов

Институт географии РАН

Экспедиционные исследования на архипелаге Шпицберген выполнялись в рамках госзадания № 0127-2019-0009 Министерства науки и высшего образования РФ «Исследование изменчивости природных и антропогенных ландшафтов архипелага Шпицберген в условиях современного климата» (№ AAAA-A18-118112690112-5).

Основная цель исследований — оценка современной изменчивости природных и антропогенных ландшафтов архипелага Шпицберген:

- в сезон 2019 г. в рамках госзадания № 0127-2019-0009 на архипелаге Шпицберген экспедиционные исследования велись в период с июля по сентябрь. В полевых работах принимали участие 10 сотрудников, включая 2 молодых научных сотрудника и 2 студента;
- продолжительность работ на архипелаге около 200 человеко-дней;
- опубликовано 3 статьи WoS и Scopus;
- целевые показатели Института географии РАН на 2019 г. выполнены полностью.

Получены следующие основные результаты:

- 1) В рамках мониторинга состояния мёрзлых грунтов были получены значения глубины и температуры сезонно-талого слоя на склоне г. Улаф (пос. Баренцбург) на семи площадках. Определена пространственная изменчивость глубины СТС как на самих площадках, так и на склоне в целом. С помощью логгеров проведены измерения температуры воздуха на склоне г. Улаф и на леднике в одном высотном диапазоне, определены высотные градиенты температуры воздуха. Данные о внутрисуточном изменении величин солнечной радиации, влажности и температуры воздуха, мха и грунта на различных глубинах, полученные на измерительном комплексе с 10-ю датчиками дали материал для уточнения математической модели взаимодействия «атмосферы — снежного и мохового покровов — грунта».
- 2) Проведены измерения летнего таяния на леднике Восточный Гренфьорд, которые основаны на показаниях 20 абляционных реек. Установлена межгодовая изменчивость таяния на разных высотах ледника. Полученные данные использованы для оценки годового баланса массы ледника. Проведено сравнение данных о положении краевой части ледника. Для оценки величины ледникового стока на основе измерения расхода воды в ледниковых водотоках и значения скорости фильтрации талой воды в коре таяния на леднике Восточный Гренфьорд. Определена высотная зависимость толщины коры таяния на поверхности ледника.
- 3) Результаты многолетних наблюдений за почвенной эмиссией и нетто-потоками CO₂ в естественных и антропогенно-изменённых (АИ) экосистемах арктической тундры архипелага Шпицберген показали, что антропогенные факторы, связанные с местным землепользованием, могут более чем вдвое увеличивать эмиссию диоксида углерода из почвы в период своего активного воздействия. Нетто-баланс CO₂ на таких участках является положительным (источник для атмосферы). Фоновые экосистемы с высокой вероятностью находятся в состоянии С-равновесия или слабого

источника для атмосферы за год. Зарастающие (самовосстанавливающиеся после антропогенного воздействия) участки демонстрируют промежуточные между фоновыми и АИ участками величины почвенной эмиссии CO_2 , но при этом наибольшие по сравнению с ними нетто-потoki C (сток углерода) во всем диапазоне освещённости. Наибольший вклад в различия эмиссии CO_2 между отдельными точками вносят пространственные факторы (объясняют 56–66 % дисперсии), тогда как временные факторы объясняют лишь 3,8–5,5 % дисперсии.

- 4) Установлено, что органо-минеральные взаимодействия почвенного типа имеют место так же на поверхности ледников и снежников — они записываются в минеральном мелкозёме в виде аккумуляции соединений углерода и азота. Предложено выделять криоконитные солоиды (почвоподобные тела). Их распространение намного шире в полярных областях, чем во внеледниковой суши. Из этого следует парадоксальный вывод — почвенные процессы в полярных областях имеют не меньшие, как считалось ранее, а значительно бóльшие ареалы, чем площадь внеледниковой суши.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ И СТРУКТУРЫ АТМОСФЕРНОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ НАД СЛОЖНЫМ РЕЛЬЕФОМ В ПОЛЯРНЫХ РАЙОНАХ

И. А. Репина, А. А. Шестакова, А. Ю. Артамонов, Д. Г. Чечин

Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН

Исследования проводились по следующим направлениям: измерение составляющих энергетического баланса в приводном слое атмосферы; анализ энергообмена атмосферы и подстилающей поверхности при различных метеоусловиях и условиях атмосферной стратификации с помощью инструментальных измерений потоков тепла и импульса в приповерхностном слое атмосферы; разработка параметризаций для определения коэффициентов обмена в аэродинамических балк-формулах, параметра шероховатости поверхности и универсальных функций теории подобия Монина — Обухова, модификация теории подобия для штормовых полярных районов; исследование динамики и структуры атмосферного пограничного слоя во фронтальных зонах с применением контактных и дистанционных методов; исследование характеристик энергообмена при сменах воздушных масс: показана существенная пространственная и временная изменчивость характеристик энергообмена в прибрежной зоне Шпицбергена, связанная с синоптическими условиями и влиянием берегов.

Проведено исследование случая фёна, наблюдавшегося на западном побережье Шпицбергена при восточном ветре, и его влияния на структуру атмосферного пограничного слоя и компоненты теплового баланса поверхности. При этом использованы комплексные метеорологические наблюдения, проводившиеся одновременно в рамках измерительных кампаний ACLOUD (самолетные наблюдения) и PASCAL (судовые наблюдения), а также программ длительного мониторинга в пос. Нью-Олесунн (станционные наблюдения). Кроме того, для получения более полной пространственной структуры фёна было проведено численное моделирование этого случая с помощью модели WRF с высоким разрешением до 1,3 км.

По данным пульсационных измерений проведено исследование параметра шероховатости заснеженной и свободной от снега поверхности. Проанализированы большие массивы наблюдений за несколько лет и сезонов. Показано, что сезонная смена типа подстилающей поверхности (летом — тундровая растительность, зимой — снег) влияет на значения параметра шероховатости. Окружающие неоднородности рельефа также влияют на параметр шероховатости, что приводит к его зависимости от направления ветра. Уточнены коэффициенты в параметризации для термического параметра шероховатости, которая связывает его с динамическим параметром шероховатости. Показано, что использование полученных средних значений параметра шероховатости в аэродинамических (балк-) формулах приводит к хорошему согласию с измерениями рассчитываемых с их помощью потоков импульса и тепла

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА АРХИПЕЛАГЕ ШПИЦБЕРГЕН (ЗЕМЛЯ НОРДЕНШЕЛЬДА) В 2019 ГОДУ

А. Н. Сироткин¹, М. Ю. Милославский¹, В. В. Шарин¹, Н. Н. Костева¹, А. С. Окунев¹,
Н. К. Евдокимова², Е. А. Зыков², Д. М. Урванцев², Д. А. Горбунов², Д. А. Соловьева³

¹АО «Полярная морская геолого-разведочная экспедиция»

²Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана имени академика И. С. Грамберга

³Арктический и антарктический научно-исследовательский институт

В 2019 году АО «Полярная морская геолого-разведочная экспедиция» (ПМГРЭ) и Всероссийским научно-исследовательским институтом геологии и минеральных ресурсов Мирового океана имени академика И. С. Грамберга («ВНИИОкеангеология») проведены работы в центральной части Земли Норденшельда архипелага Шпицберген (рис. 1) на основании государственного задания Федерального агентства по недропользованию от 11 января 2019 г. № 049-00018-19-00 «Геологическое доизучение и оценка минерально-сырьевого потенциала недр архипелага Шпицберген (Земля Норденшельда)». Начало работ — I квартал 2018 года, завершение работ — IV квартал 2020 года. Цель работ — составление комплекта карт, схем и разрезов геологического содержания центральной части Земли Норденшельда (архипелаг Шпицберген); оценка минерально-сырьевого потенциала изученных районов архипелага Шпицберген.

Геологические экспедиционные исследования на архипелаге проводятся как продолжение плановой геологической съёмки масштаба 1:200 000, которую долгие годы осуществляла ПМГРЭ [2 ; 3 ; 6 ; 7 ; 8].

В основные задачи исследований 2019 года входили:

- подготовка и проведение полевых работ в центральной части Земли Норденшельда: северный участок Ван-Мейн-фьорда с заходами по долинам русел рек и подъёмом в горную часть района, южный участок Грён-фьорда и юго-западный участок в районе бухты Ван-Муйден (рис. 2);
- составление предварительных карт и схем геологического содержания масштаба 1:100 000 центральной части Земли Норденшельда (геологической карты с пунктами проявлений полезных ископаемых, геоморфологической карты и карты четвертичных отложений, а также разномасштабных схем, включая схемы палеогеографических реконструкций);
- уточнение особенностей геологического строения изученной площади и оценка минерально-сырьевого потенциала изученных районов, включая оценку угленосности палеогеновых отложений центральной части Земли Норденшельда.

Полевые работы на архипелаге Шпицберген проведены в период с 25 июня по 9 сентября 2019 г. силами объединённой научной группы общим количеством 8 человек (6 сотрудников ПМГРЭ и 2 сотрудника «ВНИИОкеангеология»). В рамках взаимодействия организаций-членов консорциума «Российский научный центр на архипелаге Шпицберген» в состав полевой группы вошли два сотрудника Арктического и антарктического научно-исследовательского института, проводившие палеогеографические исследования на той же территории. Полевой лагерь располагался на северном берегу Ван-Майен-фьорда, в районе долины Вассдален (рис. 3).



Рис. 1. Обзорная схема района работ

При проведении работ использовался лодочный транспорт «Зодиак» и катер «Баренцбург» (рис. 4), палатки и другое снаряжение на базе ПМГРЭ в посёлке Баренцбург.

Основными объектами исследований являлись палеогеновые отложения, простирающиеся почти по всей площади центральной части Земли Норденшельда, а также рифейско-вендские метавулканогенно-осадочные комплексы на северном побережье залива Белльсунн (бухта Ван-Муйден, юго-западный участок). Проведены наземные геологические маршруты; специализированные геолого-геоморфологические и геоэкологические исследования; комплексное опробование: геохимическое, микрофаунистические, макрофаунистические, минералогическое, шлиховое, отбор образцов на определение абсолютного возраста и палеонтологическое изучение разрезов. Также изучен комплекс четвертичных отложений, геоморфологические особенности рельефа, проведены палеогеографические и геоэкологические исследования на указанной площади. Изучены проявления горючих и негорючих полезных ископаемых, дана предварительная оценка угленосности палеогенового комплекса. Проведено уточнение легенды для верхнерифейских — палеогеновых отложений района, изучены опорные разрезы четвертичных отложений и коренных пород, составлены соответствующие профили.

Основными результатами исследований, полученными в ходе полевых экспедиционных работ в 2019 г., является геологическое доизучение исследуемых площадей с предварительной оценкой минерально-сырьевого потенциала и составление комплекта предварительных карт геологического содержания масштаба 1:100 000 (геологическая карта с пунктами проявления полезных ископаемых, геоморфологическая карта и карта четвертичных отложений, схемы палеогеографических реконструкций).

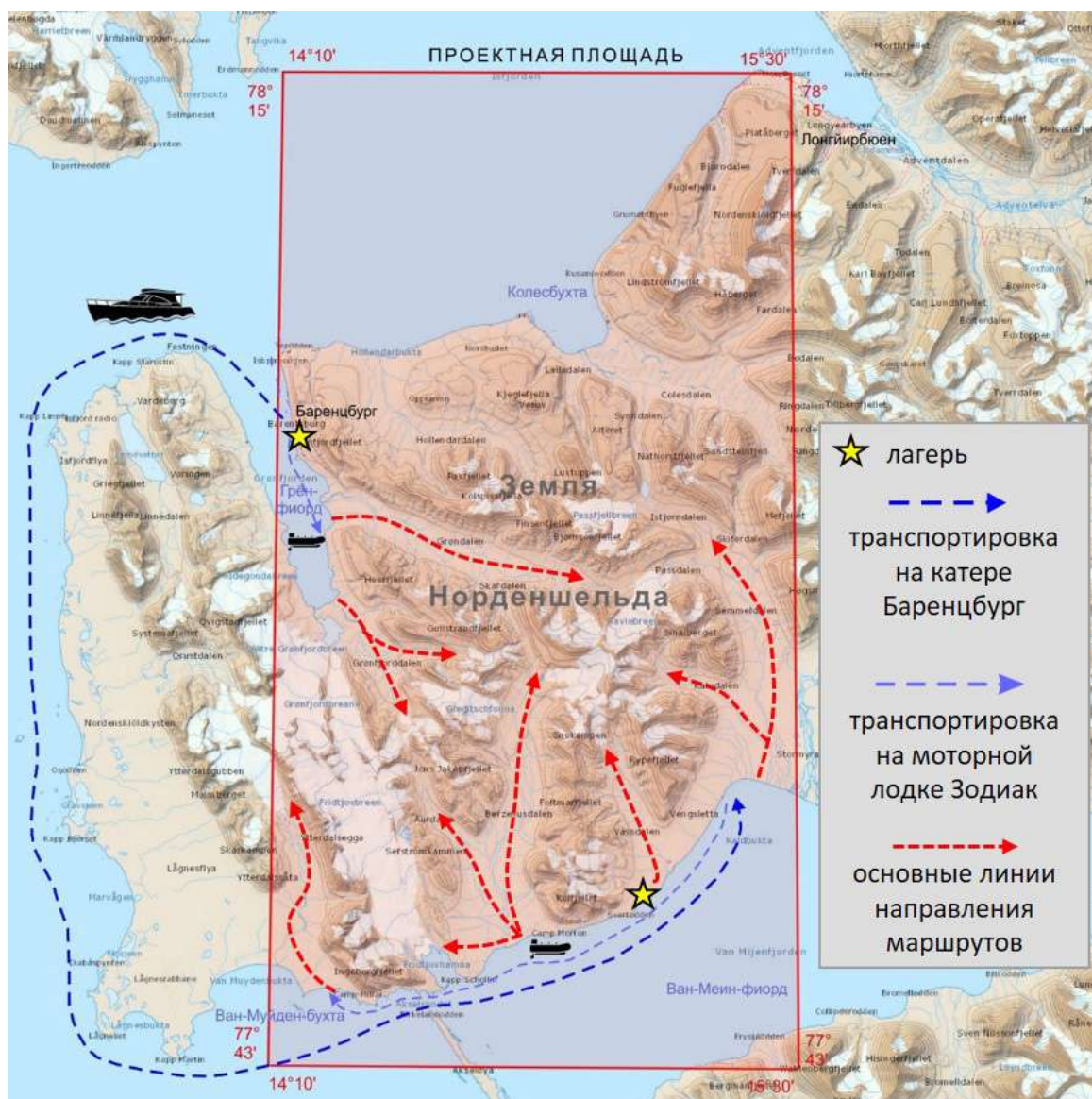


Рис. 2. Схема полевых работ и маршрутов ГДП в 2019 году



Рис. 3. Полевой лагерь в районе долины Вассдален



Рис. 4. Катер «Баренцбург» на погрузке и маршрутная группа на лодке «Зодиак»

В ходе работ проводилось доизучение комплекса докембрийских отложений на юго-западе изучаемой площади (район Иттердален и бухта Ворсол). Были выделены среднерифейская толща (метавулканогенно-осадочная серия «Нордбухта»), верхнерифейская толща (метаосадочная свита Слюнгфьеллет (серия «Софиебоген») и вендская толща (метаосадочная свита Кап-Линне (серия «Белльсунн»). В составе среднерифейского подразделения выделены вулканогенные породы и метаосадки, в составе верхнерифейского и вендского подразделений — только параметаморфические породы. Эти материалы послужили основой для создания схемы корреляций разрезов докембрия района Иттердален со смежными районами западного побережья архипелага. Описаны литологические и структурные особенности толщ, степень регионального метаморфизма, характеристики контактов. Обработка материалов позволила отнести изученные породы к зеленосланцевой фации регионального метаморфизма, при этом породы среднего рифея — к высокотемпературной биотит-хлоритовой субфации, породы верхнего рифея и венда — к низкотемпературной серицит-хлоритовой субфации (рис. 5).

Доизучены метамагматические образования, опробованы тела метабазитов. Проведено опробование метаморфических пород, отобраны пробы для определения абсолютного возраста докембрийских пород. Из двух проб ортометаморфитов (с левого борта реки Иттер) были сепарированы цирконы с целью получения изотопных соотношений свинца и урана и расчета абсолютного возраста. Цифры подтвердили предполагаемый среднерифейский возраст серии «Нордбухта» (1 100 млн лет).

Был обработан материал по уточнению схемы стратиграфического расчленения палеогенового комплекса. Уточнено строение и мощности палеогеновых отложений с детальным описанием свит по разрезу. Утверждено расчленение шести свит, одна из них — объединённая (нерасчленённые свиты Грумантская и холлендердаленская). Собран материал по литологической и палеонтологической характеристикам разреза каждой из свит, составлены геолого-литологические и литолого-фациальные профили продуктивной толщи баренцбургской свиты по материалам поисково-разведочного бурения, схемы предпалеогеновой поверхности районов месторождений Баренцбург и Грумант (с выделенными зонами рабочей угленосности от 0,5 м пластов «Нижний» и «Верхний»). Проведено описание в породах палеогена серии разрывных нарушений (сбросов).

Четвертичные морские террасы на Земле Норденшельда исследуются отечественными геологами с 1960-х годов [5]. В последнее десятилетие многие опорные обнажения плейстоцен-голоценовых образований района были исследованы геохронометрическими, литологическими и микрофаунистическими методами. Возрастной диапазон полученных календарных дат укладывается во временной интервал от 2000 до 11 700 лет для высот от 1 до 20 м над уровнем моря. На основе анализа новых датиро-

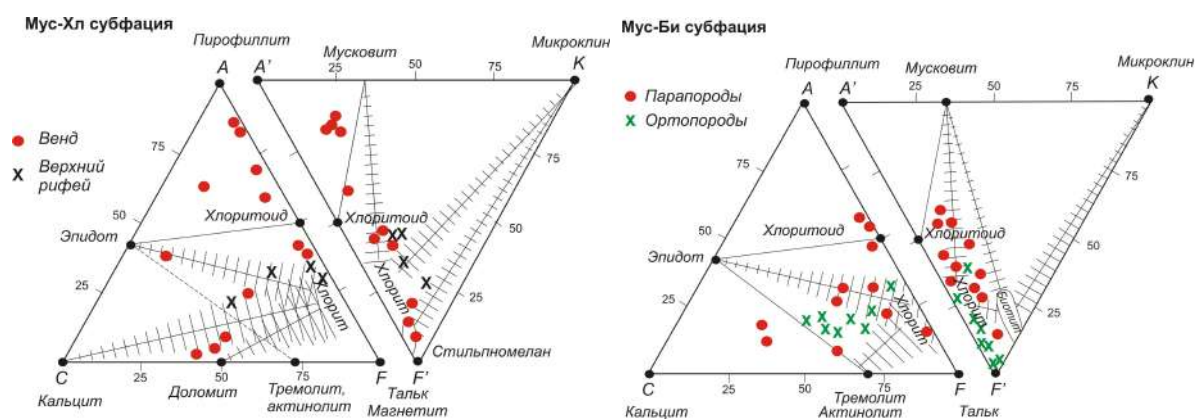


Рис. 5. Диаграммы ACF и A'KF для характеристики пород зеленосланцевой фации регионального метаморфизма

вок, а также геоморфологического строения реконструированы некоторые эпизоды развития рельефа, колебания уровня моря и ледников изученного района [1 ; 4 ; 10].

В 2019 году проведено уточнение генетических типов четвертичных отложений в разрезах морских террас, надпойменных террас крупных рек, а также биогенных отложений [9]. Исследовались морские образования, формирующие разноуровневые комплексы аккумулятивных террас в крупных долинах. Выделены прибрежно-морские (пляжевые), дельтовые, лагунные генетические подтипы. Получена микрофаунистическая характеристика четвертичных пород из разрезов морских террас, построена плот-диаграмма распределения видов фораминифер, где показана динамика изменения общего количества раковин и их видового разнообразия с выделением трех комплексов, характеризующих разные условия осадконакопления.

Изучены разрезы с наличием переотложенных ядер древнего комплекса остракод карбон-пермского и триас-нижнеюрского возраста (рис. 6). Проведены радиоуглеродные датировки отложений из разрезов разноуровневых морских террас, а также из биогенных ледниково-морских отложений, которые варьируются от поздненеоплейстоцен-раннеголоценовых до среднеголоценовых. Изучены площади распространения полей автохтонных торфяников и ледово-морских отложений.

Доизучен ряд ранее выявленных проявлений полезных ископаемых, обнаружены новые проявления полезных ископаемых — каменные угли нижнего карбона в верховьях долины Иттер, палеогена в районе Кап-Мортон на северо-западе горы Коль и в южном подножии горы Аурдальскампен (коренные выходы и высыпки углей баренцбургской свиты). Проведено шлиховое опробование вдоль основных водотоков. На юго-западном участке проведено геохимическое опробование проявления цинковых руд Синкхолмен, а также отдельных участков пород среднего рифея острова Большой Рейниус. Выделена главная минеральная ассоциация руд цинкового рудопроявления Синкхолмен, представленная сфалеритом, галенитом, халькопиритом, пиритом и др. Выделены рудные стадии минералообразования: сфалеритовая, халькопирит-галенитовая, карбонатная.

Составлен комплект предварительных схем палеогеографических реконструкций: схема положения уровня моря в позднем неоплейстоцене — раннем голоцене (15 000–9 000 л. н.), схема положения уровня моря в раннем — среднем голоцене (9 000–5 000 л. н.) с выделенными находками раковин теплолюбивых моллюсков, схема дегляциации ледников 1900–1990 гг. Удалось проследить изменения литологического состава, макрофаунистических комплексов, что дало возможность восстановить историю осадконакопления территории, возраст процессов и прояснить палеогеографические обстановки за определенный период. По реконструкции положения ледников и моренных комплексов выделяется активная

деградация ледникового покрова за последние 100 лет.

Представлены предварительные оценочные параметры угленосности месторождений Баренцбург, Грумант, Лонгйир и Берцелиус района Земли Норденшельда, которая проявлена на трех стратиграфических уровнях палеогена: в базальной части (баренцбургская свита), в средней (холлендердаленская свита) и в верхней (стурвольская свита). Составлен общий геологический разрез через центральную часть Западно-Шпицбергенского прогиба. Промышленной угленосностью с мощностью пластов от 0,6 м и выше характеризуются только отложения баренцбургской свиты. Дано описание угленосных пачек месторождений Баренцбург, Грумант, Лонгйир и Берцелиус с расчетом процентного содержания пород и углей в продуктивной пачке, составлены разрезы угленосных пластов «Нижний» и «Верхний».

Изучен литолого-фациальный состав угленосной толщи баренцбургской свиты палеогена, выделены фациальные разновидности отложений по комплексу диагностических признаков, объединённых в две группы фаций: континентальные и переходные от континентальных к морским. Даны описания каждой фации, описаны текстурные особенности, составлены фациальные профили продуктивной толщи баренцбургской свиты. Был изучен микрокомпонентный состав, качественные показатели углей и количественный петрографический состав пластов месторождения Баренцбург. Согласно действующему ГОСТ 25543-13 определён марочный состав углей, состоящий из углепетрографических данных, включающих микрокомпонентный состав и оценку метаморфизма по величине отражающей способности витринита, и углехимических, состоящих из выхода летучих веществ и толщины пластического слоя. Для месторождения Баренцбург: пласт «Нижний» — 0823412, 0923414; пласт «Верхний» — 0704014, 0714219. Описан метаморфизм и петрография углей. Полученные результаты могут быть использованы в качестве опорных вещественно-петрографических разрезов пластов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новые данные по береговым линиям архипелагов Земля Франца Иосифа, Новая Земля и Шпицберген / Большаков Д. Ю., Погодина И. А., Гусев Е. А. [и др.] // Проблемы Арктики и Антарктики. 2009. № 2. С. 68–77.
2. Евдокимов А. Н., Сироткин А. Н., Крюков Я. В. Россия на Шпицбергене: история изучения, проблемы освоения недр и перспективы на будущее // ЭКО. 2018. № 4 (526). С. 83–101. DOI: [10.30680/ECO0131-7652-2018-4-83-101](https://doi.org/10.30680/ECO0131-7652-2018-4-83-101)
3. Первые результаты изотопного U/Pb-датирования (LA-ICP-MS) детритных цирконов из нижнего палеозоя Шпицбергена / Костева Н. Н., Кузнецов Н. Б., Тебеньков А. М., Романюк Т. В. // Доклады Академии наук. 2014. Т. 455, № 3. С. 305. DOI: [10.7868/S0869565214090199](https://doi.org/10.7868/S0869565214090199)
4. Уран-ториевое датирование высоких морских террас архипелага Шпицберген / Максимов Ф. Е., Шарин В. В., Кузнецов В. Ю. [и др.] // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7, Геология. География. 2016. № 2. С. 54–64. DOI: [10.21638/11701/spbu07.2016.205](https://doi.org/10.21638/11701/spbu07.2016.205)
5. Семевский Д. В. Морские террасы Ван-Мейен-фьорда и Билле-фьорда и их палеонтологическая характеристика // Материалы по геологии Шпицбергена / НИИ геологии Арктики М-ва геологии СССР. Л., 1965. С. 222–231.
6. Сироткин А. Н. Геологическое изучение архипелага Шпицберген (АО «ПМГРЭ») // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2019. № 3 (166). С. 80.

7. Сироткин А. Н., Скублов С. Г. U-Pb возраст циркона из метабазитов кристаллического фундамента архипелага Шпицберген и история его формирования // Региональная геология и металлогения. 2015. № 63. С. 47–58.
8. О возрасте формирования основания Шпицбергена: U-Pb-датирование детритного циркона из верхнедокембрийских и нижнекаменноугольных обломочных пород северо-западной части Земли Норденшельда / Сироткин А. Н., Марин Ю. Б., Кузнецов Н. Б. [и др.] // Доклады Академии наук. 2017. Т. 477, № 3. С. 321–326. DOI: [10.7868/S0869565217330143](https://doi.org/10.7868/S0869565217330143)
9. Соловьева Д. А., Окунев А. С., Веркулич С. Р. Палеогеографические и геоморфологические исследования на северном побережье Ван-Майен-фьорда (Земля Норденшельда, о. Западный Шпицберген) // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России : материалы ежегод. конф. по результатам экспедиц. исслед. СПб., 2019. Вып. 6. С. 158–162.
10. Новые геохронологические данные четвертичных отложений северо-западной части Земли Норденшельда (архипелаг Шпицберген) / Шарин В. В., Кокин О. В., Гусев Е. А. [и др.] // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7, Геология. География. 2014. № 1. С. 159–168.

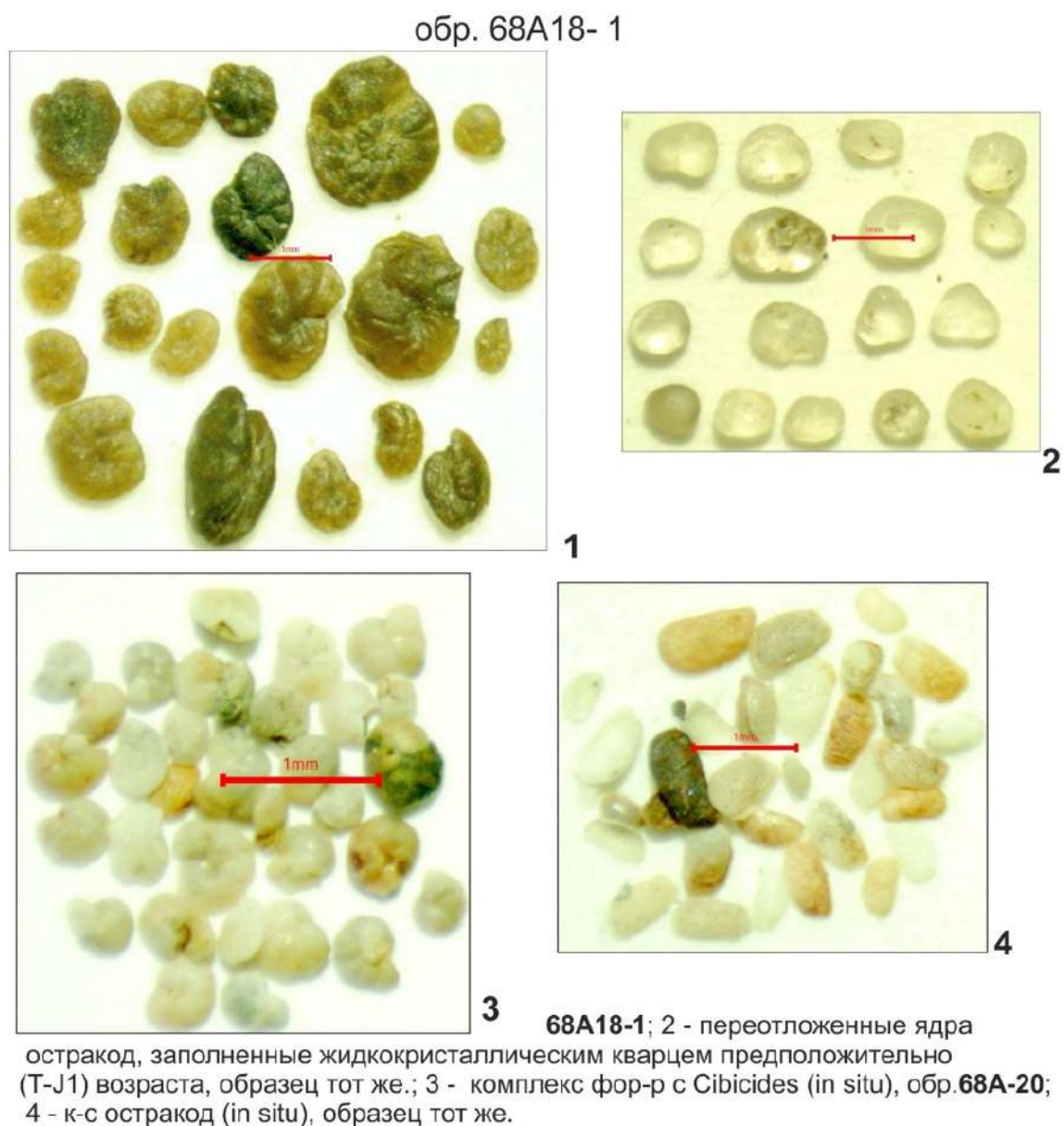


Рис. 6. Переотложенные ядра остракод триас-нижнеюрского комплекса

СЕЙСМИЧЕСКИЕ И ИНФРАЗВУКОВЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ НА АРХИПЕЛАГЕ ШПИЦБЕРГЕН В 2019 ГОДУ

А. В. Федоров, В. Э. Асминг, И. С. Федоров, А. И. Воронин

Кольский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН»

Сейсмический мониторинг района архипелага Шпицберген

На протяжении всего 2019 года Кольским филиалом Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН» (КоФ ФИЦ ЕГС РАН) проводился непрерывный мониторинг сейсмической обстановки в районе архипелага Шпицберген. Для выполнения мониторинга использовались как собственные сейсмические станции, так и станции зарубежных сейсмологических агентств (рис. 1). Данные международной сети были объединены в региональном информационно-обрабатывающем центре (РИОЦ) в г. Апатиты.

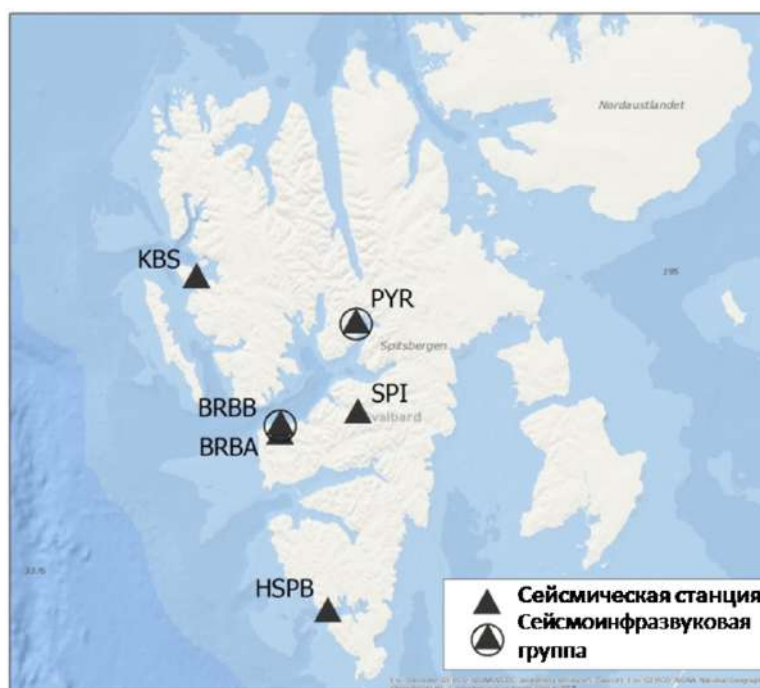


Рис. 1. Карта сейсмических станций Шпицбергенской сети наблюдений, данные с которых поступают и обрабатываются в РИОЦ КоФ ФИЦ ЕГС РАН

Системами автоматического обнаружения и локализации было выделено более 34 000 сейсмических событий в диапазоне магнитуд от 0,5 до 4,5.

Как и в предыдущие годы, основная сейсмическая активность в данном регионе приурочена к зоне Срединно-Атлантического хребта. Сильнейшее землетрясение региона произошло 02 сентября 2019 г., в 13:02:44.39 UTC, в точке с координатами 80,664° с. ш. и 1,208° в. д. в районе сочленения Шпицбергенской зоны разломов (ШЗР) и хребта Гаккеля, магнитуда события $M_L = 4,5$. Эпицентр данного землетрясения располагался на расстоянии 290 км от ближайшего поселка Нью-Олесунн, подземные толчки опасности для населения и объектов инфраструктуры не представляли.

Сильнейшим землетрясением в ближней зоне от населённых пунктов Шпицбергена стало событие 18 октября 2019 г., в 00:56:49 по UTC, в месте с координатами 78,82616° с. ш. и 10,85736° в. д. на о. Земля Принца Карла. Магнитуда составила 3,9 единиц. Эпицентр данного землетрясения располагался всего в 30 км от поселка Нью-Олесунн, подземные толчки опасности для населения и объектов инфраструктуры не представляли. За главным толчком последовала серия повторных, более слабых землетрясений (афтершоков), магнитуда сильнейшего из них составила 2,9 единиц локальной магнитудной шкалы. Стоит отметить, что рассматриваемый район, о. Земля Принца Карла, отмечался повышенным уровнем слабой сейсмичности на протяжении всего 2019 года, подробно ход сейсмического процесса в данной области будет рассмотрен ниже. Таким образом, нельзя исключать дальнейшего роста активизации данной области с проявлением более сильных землетрясений.

Карта эпицентров сейсмических событий, зарегистрированных в районе архипелага Шпицберген, с магнитудами более 1 ($M_L \geq 1$) представлена на рисунке 2.

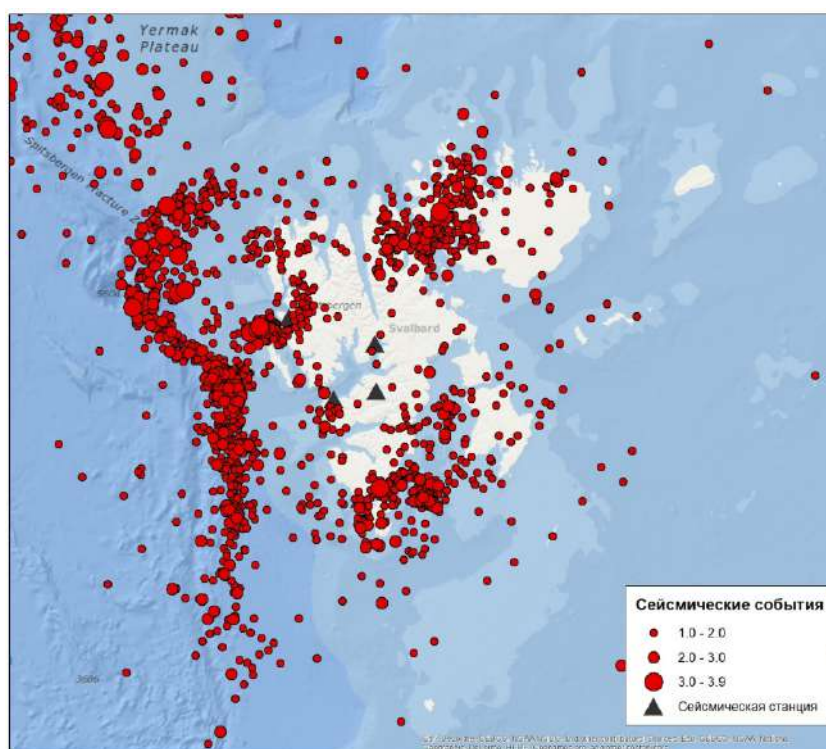


Рис. 2. Землетрясения, зарегистрированные Шпицбергенской сетью сейсмических станций в районе исследований в 2019 году, с локальной магнитудой больше 1

Ввиду огромного числа сейсмических событий, зарегистрированных Шпицбергенской сетью станций (более 34 000), обработка человеком всего массива записей крайне трудоёмка, поэтому вручную анализу и уточнению эпицентральных характеристик были подвергнуты только сейсмические собы-

тия с $ML > 2$. Остальные события анализировались с теми параметрами, какие были получены автоматической системой обнаружения и локации NSDL. В полностью автоматической системе нередко случаются ложные срабатывания, однако ранее было показано, что их число для Шпицбергенской сети в среднем не превышает 10 %, а для событий, определённых по трём станциям, — 3 %. Поэтому полученные данные можно использовать для изучения динамики сейсмического процесса без предварительной отбраковки человеком ложных срабатываний.

Низкоэнергетическая сейсмичность Шпицбергена

Отдельного внимания заслуживает низкоэнергетическая сейсмическая активность на Шпицбергене, т. к. она маркирует и картирует как геодинамические процессы на архипелаге, так и отражает активность ледникового покрова, занимающего около 60 % площади суши архипелага.

На рисунке 3 представлена карта, одновременно иллюстрирующая энерговыделение и плотность сейсмических событий, обнаруженных в 2019 году.

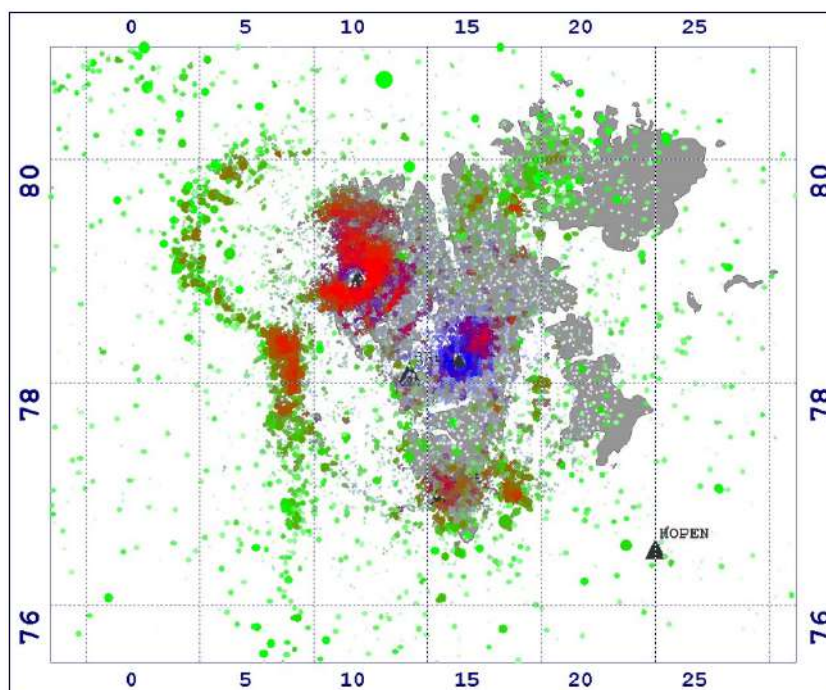


Рис. 3. Отображение сейсмического процесса в районе архипелага Шпицберген в виде элементов площади, цвета которых зависят от числа сейсмических событий и выделившейся сейсмической энергии

Анализ рисунка 3 показывает, что наиболее активными в плане количества сейсмических событий и суммарной выделившейся энергии являются области в центральной, северо-западной и северо-восточной частях архипелага. Данные области не совпадают с местами проявления сильнейших землетрясений региона, а соответствуют областям расположения активных выводных ледников. Соответственно, сейсмичность в данных областях имеет ледниковое происхождение и отражает процесс деструкции ледников Шпицбергена.

Сейсмичность района размещения угольных шахт ГТ «Арктикуголь»

В 2019 году продолжались работы по непрерывному мониторингу района размещения угольной шахты рудника «Баренцбург» ГТ «Арктикуголь». Мониторинг указанного района выполнялся посредством двух сейсмических станций КоФ ФИЦ ЕГС РАН, установленных вблизи шахты. На рисунке 4 представлена карта эпицентров сейсмических событий, обнаруженных системой мониторинга за последние 5 лет. Несмотря на большое количество сейсмических событий, отмеченных в данной области, магнитуды их не превышали $ML = 1$.

На рисунке 5 показано распределение числа обнаруженных событий по месяцам за последние 5 лет.

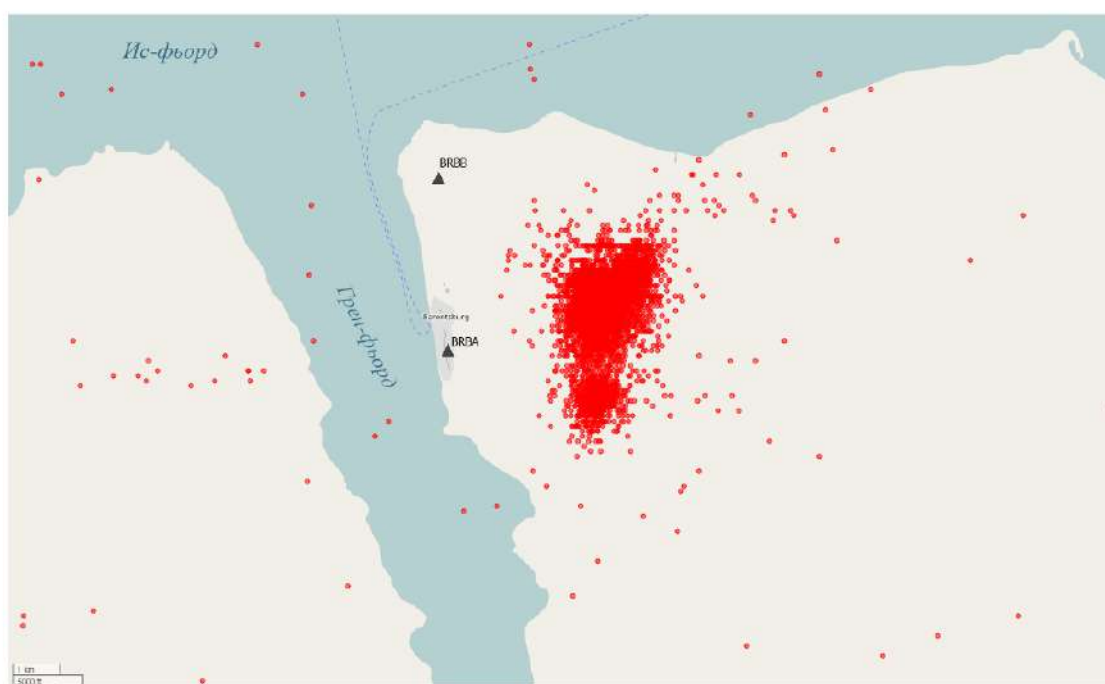


Рис. 4. Эпицентры сейсмических событий, обнаруженных вблизи рудника «Баренцбург» в 2015–2019 гг.

Инфразвуковые наблюдения на архипелаге Шпицберген

В 2019 году на архипелаге Шпицберген продолжались наблюдения за инфразвуковым полем с применением уникальной научной установки сейсмоинфразвукового мониторинга арктической криолитозоны (УНУ СИЗ МАК) — группа «Баренцбург Б».

Основным источником сигналов в инфразвуковом диапазоне, регистрируемых на архипелаге, являются сигналы, генерируемые при растрескивании ледников и отколе айсбергов, а также сигналы, порожденные штормами в Северной Атлантике (микробаромы).

Сейсмоинфразвуковая группа «Баренцбург Б» расположена в 3 км к северу от пос. Баренцбург и состоит из трех разнесенных в пространстве низкочастотных микрофонов и широкополосной сейсмической станции. Расстановка элементов группы показана на рисунке 6.

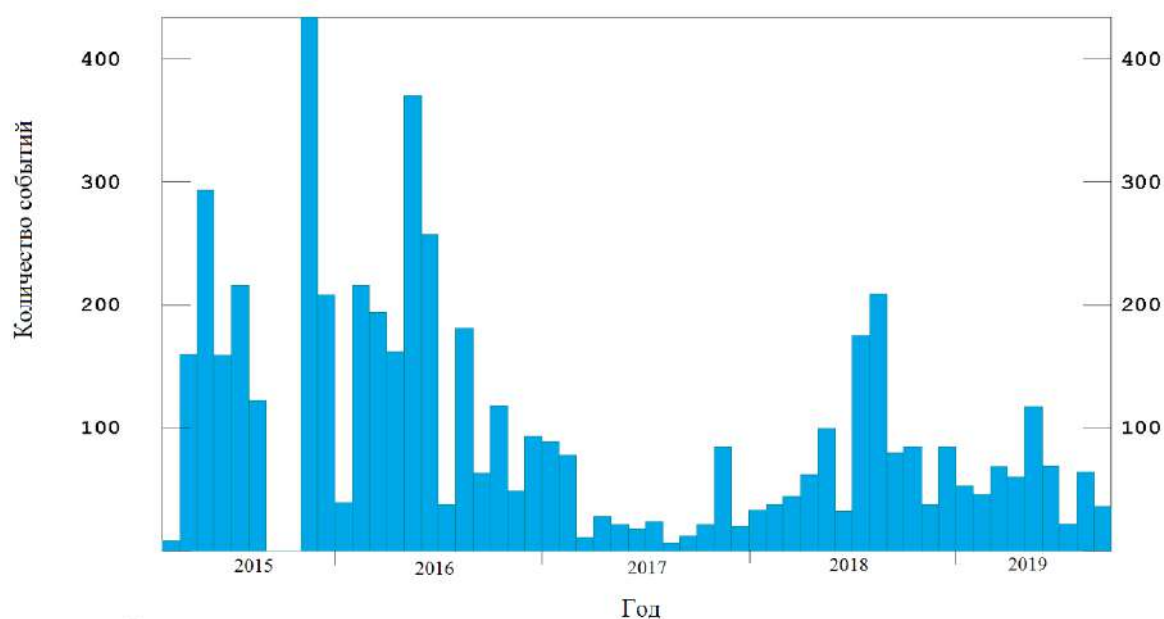


Рис. 5. Распределение количества сейсмических событий, обнаруженных вблизи рудника «Баренцбург» за период 2015–2019 гг.

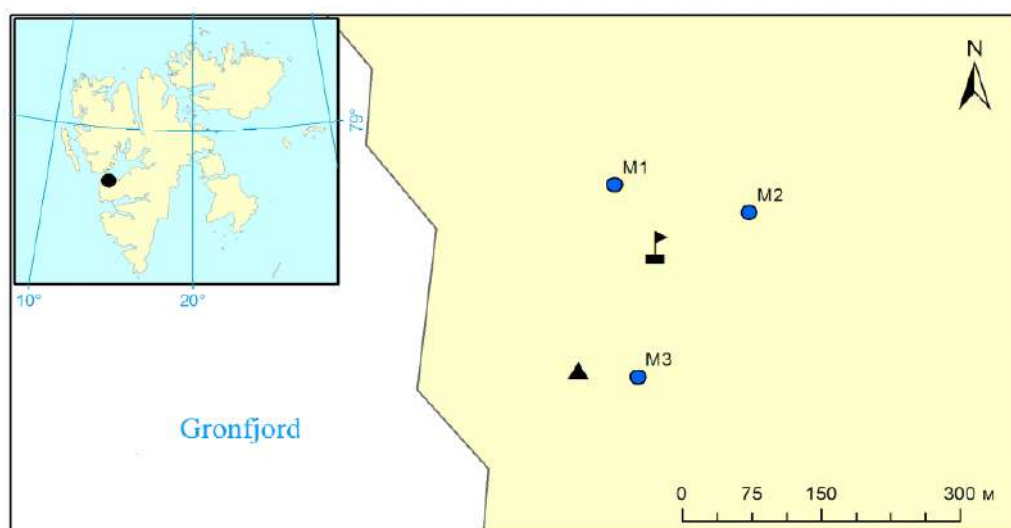


Рис. 6. Расстановка элементов сейсмоинфразвуковой группы «Баренцбург Б» на местности

За 2019 год СИЗК МАК зарегистрировано 2050 инфразвуковых событий, 1239 слабых (отношение сигнал/шум < 5), 527 средних (сигнал/шум от 5 до 10) и 284 сильных (сигнал/шум > 10). Распределение количества акустических событий по месяцам 2019 года показано на рисунке 7. Как и в предыдущие годы, максимальное количество инфразвуковых событий регистрируется в летне-осенний период, когда активизируются процессы разрушения ледниковых тел. Распределение количества зарегистрированных инфразвуковых сигналов по азимутам на источник для трех различных диапазонов отношения сигнал/шум показано на рисунке 8.

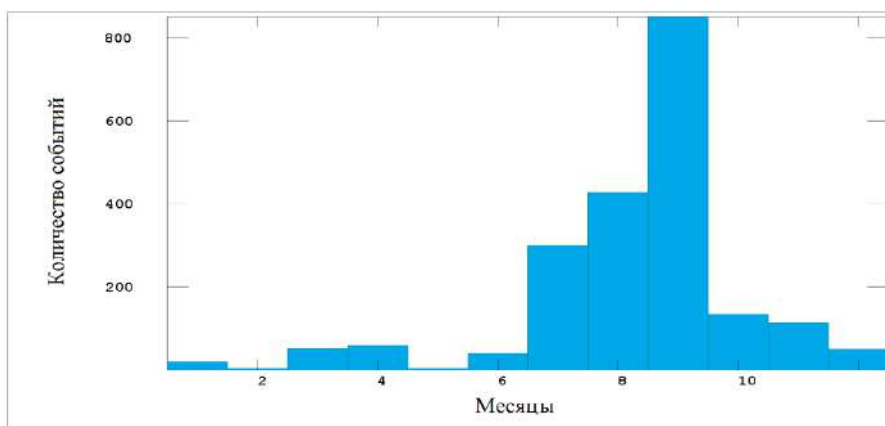


Рис. 7. Распределение количества зарегистрированных инфразвуковых событий на СИЗ МАК (группа «Баренцбург Б») по месяцам 2019 года

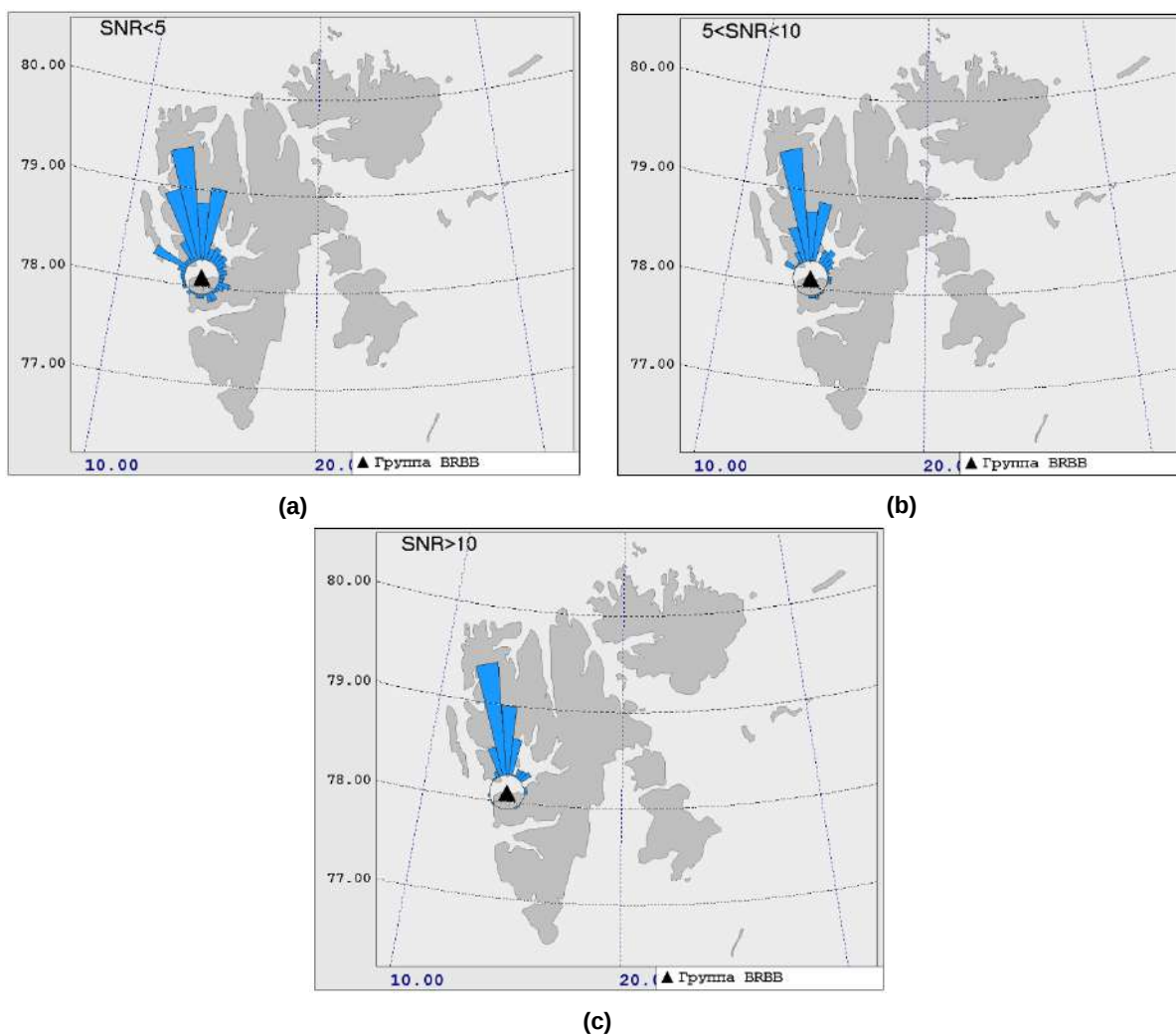


Рис. 8. Распределение количества зарегистрированных инфразвуковых сигналов по азимутам на источник для трех различных диапазонов отношения сигнал/шум: (a) SNR < 5; (b) 5 < SNR < 10; (c) SNR > 10

Анализ рисунка 8 показывает, что в 2019 году во всех диапазонах отношения сигнал/шум для зарегистрированных акустических событий доминируют направления на север, где находятся ближайшие крупные и активные ледники, активностью которых и обусловлена регистрируемая акустическая эмиссия.

Заключение

В ходе работ в 2019 году Кольским филиалом ФИЦ ЕГС РАН непрерывно проводился мониторинг сейсмической обстановки и инфразвуковых сигналов в районе архипелага Шпицберген. По результатам мониторинга:

- актуализирован каталог и схема пространственного распределения землетрясений в контролируемом регионе;
- получена детальная пространственно-временная характеристика сейсмического процесса архипелага Шпицберген;
- дана оценка сейсмической опасности региона с учетом современного геодинамического режима тектонических линейментов;
- продолжены работы по развитию методики непрерывного контроля импульсных возмущений инфразвукового поля в атмосфере Западной Арктики.

Научное электронное издание

Итоги экспедиционных исследований
в 2019 году в Мировом океане,
внутренних водах
и на архипелаге Шпицберген

Верстка, макет:
Сергеева А. В.

Корректор:
Уткина Е. Г.

Подписано в печать 30.06.2020

Формат: 60×84/8.

Гарнитура: Liberation Sans

ФИЦ ИнБЮМ

пр. Нахимова 2, г. Севастополь, 299011, РФ

Тел. +7 8692 54-55-50

ISBN 978-5-6044865-0-4



9 785604 486504